

Георг Шпрокхоф

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО КУРСУ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ФИЗИКИ

ЧАСТЬ

3

• 1965

Георг Шпрокхоф

ЭКСПЕРИМЕНТ
ПО КУРСУ
ЭЛЕМЕНТАРНОЙ
ФИЗИКИ

часть

3

ТЕПЛОТА

ПЕРЕВОД С НЕМЕЦКОГО

А. П. Ломана

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

проф. П. А. Знаменского

проф. П. А. Рымкевича



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ПРОСВЕЩЕНИЕ“

МОСКВА ~ 1965

GEORG SPROCKHOFF

PHYSIKALISCHE SCHULVERSUCHE
EIN HILFSBUCH FÜR DIE HAND DES LEHRERS
TEIL 3. VERSUCHE ZUR WÄRMELEHRE

СОДЕРЖАНИЕ

От редакторов перевода и переводчика	8
Введение	11
Г л а в а I. Оборудование и общие указания для проведения экспериментов по теплоте	
Г л а в а II. Температура и количество теплоты	
§ 1. Методическая записка	21
§ 2. Измерение температуры	24
1. Ошибочность ощущений при субъективной оценке температуры воды	24
2. Наполнение термометрической трубки ртутью (!)	26
3. Модель термометра с водяным наполнением	27
*4. Установление постоянных точек термометра, не имеющего готовой шкалы	28
*5. Проверка правильности нанесения на шкалу лабораторного термометра постоянных точек	29
6. Измерение максимальных и минимальных температур при помощи термометра Сикса	30
7. Изготовление и использование термопары (термоэлемента)	32
*8. Измерение температуры при помощи термопары	33
§ 3. Источники теплоты	36
*9. Получение теплоты за счет сгорания топлива	36
10. Получение теплоты при трении и ударе	37
11. Эксперименты, демонстрирующие нагревание деталей и инструментов при механической обработке	39
12. Нагревание при работе мешалки-мутовки и ручной сахарной мельницы	40
§ 4. Количество теплоты	41
*13. Эксперимент, знакомящий с понятием количества теплоты	41
*14. Эксперимент, знакомящий с понятием удельной теплоемкости	44
*15. Определение удельной теплоемкости твердых тел (мелких гвоздей, стеклянных бус, свинцовой дроби)	45
16. Определение удельной теплоемкости жидкостей (четырёххлористого углерода и спирта)	47
17. Определение расчетом теплоемкости внутреннего сосуда калориметра из металла или стекла	50
*18. Определение теплоемкости сосуда Дьюара	50

*19. Смешивание воды, имеющей различные начальные температуры	53
*20. Определение удельной теплоемкости жидкостей методом смешивания	55
Глава III. Тепловое расширение тел	
§ 5. Методическая записка	57
§ 6. Тепловое расширение твердых тел	61
*21. Удлинение швейной иглы при нагревании	61
22. Удлинение горизонтально расположенного металлического стержня при нагревании	62
*23. Удлинение вертикально натянутой медной проволоки при нагревании	63
*24. Удлинение горизонтально натянутой проволоки при нагревании	65
*25. Эксперимент на модели, демонстрирующий действие лирообразных тепловых компенсаторов на трубопроводах	67
*26. Демонстрация теплового расширения шара и кольца на самодельном приборе	69
27. Эксперимент, демонстрирующий насадку разогретого затяжного кольца или обода	70
28. Изгибание стеклянных трубок при одностороннем нагревании	71
29. Изгибание стеклянной трубки при одностороннем нагревании (вариант Э-28) (!)	72
*30. Демонстрация сил, возникающих при тепловом расширении тел	73
31. Автосигнал повышения температуры, изготовленный из биметаллической пластинки	74
32. Эксперимент с моделью терморегулятора, включенного последовательно с нагревателем (!)	76
33. Терморегулятор — тепловое реле (вариант установки, описанной в Э-32) (!)	77
34. Тепловое удлинение проволоки	79
*35. Определение коэффициента линейного расширения металла при помощи скользящего валика с указателем	80
*36. Определение коэффициента линейного расширения металла при помощи рычажного указателя	83
*37. Определение коэффициента линейного расширения металла при помощи стрелочного микрометра	86
*38. Определение коэффициента линейного расширения при помощи маятникового подвеса	88
§ 7. Тепловое расширение жидкостей и газов	90
39. Тепловое расширение жидкостей	90
40. Изменение объема воды при изменении температуры в интервале от 0° до 10°С	91
*41. Температурная стратификация воды при охлаждении ее поверхности до 0°С	92
42. Демонстрация теплового расширения газа при помощи восходящей (напорной) трубки	93
43. Плавающий и тонущий пловец	95
44. Демонстрация аномалии теплового расширения воды при помощи дифференциального термоскопа	97
*45. Определение температуры наибольшей плотности воды с учетом теплового расширения сосуда (!)	98

46. Тепловое расширение газов. Демонстрация при помощи термоскопа	101
*47. Определение коэффициента объемного расширения жидкости при помощи измерительной колбы.	102
*48. Определение коэффициента объемного расширения газа при изобарическом процессе при помощи горизонтально расположенной трубки с каплей ртути	104
*49. Определение коэффициента объемного расширения газа при помощи жидкостного манометра.	106
*50. Определение термического коэффициента давления газа в изохорическом процессе при помощи жидкостного манометра	109
*51. Определение коэффициента объемного расширения ртути методом взвешивания (!)	111
Г л а в а IV. Плавление и затвердевание	
§ 8. Методическая записка	113
§ 9. Точка плавления. Теплота плавления. Аномалия воды . . .	115
52. Определение точки плавления тиосульфата натрия (гипосульфита)	115
*53. Определение температуры плавления и затвердевания стеарина	116
54. Сравнение точек плавления свинца и олова с точкой плавления их сплава (!)	118
*55. Определение точки плавления легкоплавких сплавов .	120
*56. Определение удельной теплоты плавления льда калориметрическим методом	120
57. Увеличение объема воды при замерзании	122
58. Уменьшение объема стеарина при затвердевании	124
59. Показ теплоты кристаллизации тиосульфата натрия . .	124
*60. Затрата теплоты на растворение солей	126
61. Изготовление охлаждающих смесей	128
62. Таяние льда под действием давления и смерзаемость его после снятия давления. Регеляция.	129
63. Переохлажденная вода	130
*64. Точка замерзания солевых растворов	132
§ 10. Формовка металла без снятия стружки	134
65. Пояснение процессаковки и горновой сварки (!) . . .	134
66. Эксперименты, демонстрирующие литье в формовочном песке (!)	136
*67. Эксперимент, демонстрирующий процесс изготовления сложных земляных форм и литье в них (!)	137
68. Эксперимент на самодельных или настоящих кокильных формах из легкого металла, демонстрирующий литье в кокилях	140
Г л а в а V. Парообразование и конденсация	
§ 11. Методическая записка	143
§ 12. Парообразование и конденсация. Теплота парообразования	145
*69. Определение точки кипения жидкостей (!)	145
70. Конденсация и дистилляция	147
71. Дистиллятор с холодильником Либиха	149
72. Эксперимент, демонстрирующий действие теплообменника	150
73. Испарение. Пять простейших экспериментов	151
74. Затрата теплоты на испарение	153

*75. Калориметрический метод определения удельной теплоты парообразования и конденсации воды	156
§ 13. Зависимость точки кипения от давления	158
76. Кипение воды при пониженном давлении	158
77. Кипение воды при повышенном давлении	160
78. Взрыв стеклянной микромодели парового котла	161
79. Получение перегретого пара	163
*80. Кипение при пониженном давлении, созданном столбиком ртути (!)	164
*81. Кипение при повышенном давлении в котле Папена (!)	165
*82. Исследование насыщающих паров эфира (!)	166
83. Исследование ненасыщающих паров эфира. Закон Бойля—Мариотта (!)	168
*84. Исследование давления паров эфира (парциального давления) при помощи манометра. Закон Дальтона (!)	170
85. Демонстрация давления паров эфира при помощи бьющего фонтана	172
86. Сжижение газа (двуокиси серы) при пониженной температуре (!)	172
87. Получение искусственного льда из жидкой углекислоты (!)	174
88. Некоторые эксперименты с твердой углекислотой (!)	175
89. Затвердевание ртути в смеси твердой углекислоты с эфиром (!)	176
90. Эксперименты с жидким воздухом (!)	178
Г л а в а VI. Передача теплоты	
§ 14. Методическая записка	182
§ 15. Теплопроводность	185
91. Демонстрация теплопроводности веществ при помощи крестовины из различных металлов, спичек или восковых шариков	185
92. Демонстрация различной теплопроводности при помощи термоиндикаторов	187
*93. Исследование теплопроводности различных металлов при помощи термоскопа	188
*94. Сравнение теплопроводности различных материалов при помощи термоскопа	189
§ 16. Конвекция	191
95. Переход от теплопроводности к конвекции	191
96. Конвекционные потоки в воде и модель водяного отопления	192
97. Демонстрация тепловых потоков над источником теплоты и в нагретой комнате	193
98. Модель дымовых труб из стеклянных трубок	195
99. Влияние ребристой поверхности на скорость теплоотдачи	195
§ 17. Тепловое излучение	197
100. Получение направленного потока тепловых лучей при помощи сферических зеркал	197
101. Увеличение теплопоглощающей способности тел покрытием их черной краской	198
102. Эксперимент, подтверждающий закон Кирхгофа об излучающих и поглощающих свойствах тел.	199

103. Излучение и поглощение тепловых лучей светлыми и темными поверхностями	201
104. Температурная характеристика отдельных участков спектра	203
105. Качественный эксперимент, демонстрирующий закон Стефана — Больцмана	204
106. Качественный эксперимент, демонстрирующий закон Вина	206

Г л а в а VII. Теплота и механическая энергия

§ 18. Методическая записка	209
§ 19. Теплота — форма энергии	210
107. Эксперименты, демонстрирующие точку воспламенения горючих паров (!)	210
108. Превращение механической энергии в теплоту	212
*109. Определение механического эквивалента теплоты при помощи трубки Уиттинга	213
*110. Определение механического эквивалента теплоты по Вильдермуту (!)	217
§ 20. Тепловые машины	219
111. Эксперимент на модели пароатмосферной тепловой машины. Модель котла Папена	219
112. Эксперимент на модели поршневой паровой машины	220
113. Модель паровой турбины Лавала	221
114. Эксперимент на модели двигателя внутреннего сгорания	223
Алфавитный указатель	225

ОТ РЕДАКТОРОВ ПЕРЕВОДА И ПЕРЕВОДЧИКА

В третьей части руководства «Эксперимент по курсу элементарной физики» излагается методика и техника демонстрационного и лабораторного эксперимента, относящегося к учению о теплоте.

В книге следующие разделы:

Глава I. Приборы и приспособления для проведения экспериментов по теплоте.

Глава II. Температура и количество теплоты.

Глава III. Тепловое расширение тел.

Глава IV. Плавление и затвердевание.

Глава V. Парообразование и конденсация.

Глава VI. Передача теплоты.

Глава VII. Теплота и механическая энергия.

Книга содержит описание 114 экспериментов.

Эта часть руководства составлена Георгом Шпрокхофом по материалам, представленным группой учителей и работников высших школ ГДР. Соавторами являются: Вернер Биндзайль, Вольфганг Брунштейн, Генрих Паукер, Йозеф Фишер, Герхард Хайзе и другие. Методические записки написаны Георгом Шпрокхофом, которому принадлежит и большинство приведенных в руководстве рисунков. Кроме того, в написании «Введения» и ряда «Методических записок» использованы высказывания Рольфа Роокремера (Лейпциг) и профессора Макса Эбнера (Грайфсвальд). Редактором немецкого издания является Георг Шпрокхоф (Айзенах, Грабенталь, 28, б).

Подготовка к изданию на русском языке настоящей 3-й ча-

сти руководства составила значительные трудности, вызванные тем, что немецкий экземпляр вышел в свет в форме карточки (в порядке опытного издания, от которого, впрочем, редакция «Народ и знание» в дальнейшем отказалась, и следующие тома будут изданы снова в форме книги, как будет переиздан и настоящий выпуск). Избранная форма издания привела к тому, что из книги выпали «Методические записки» и «Введение». Изменилось и описание иллюстраций. Потребовалась большая организационная работа и соответствующая переписка с издательством ГДР и авторами, прежде чем был установлен окончательный вариант русского издания, соответствующий предстоящему выпуску в ГДР.

Второй трудностью в подготовке этой части к печати было использование авторами руководства «практических тепловых единиц» и ряда единиц, не соответствующих системе, вводимой в настоящее время в СССР. Подготавливая эту часть руководства к печати, мы пришли к решению: все приводимые примеры и расчеты дать как в новой системе СИ, так и сохранить и принятые немецкими авторами единицы, используемые в практике преподавания наших школ на протяжении многих десятилетий, до введения системы СИ.

Мы не можем не согласиться с немецкими авторами (см. например, «Введение»), что безоговорочное использование только системы единиц СИ, вызывает значительные трудности в практике преподавания, особенно в учении о теплоте и в механике. Действительно, использование только шкалы температур Кельвина, джоулей, ньютон^{ов} и единицы давления $\text{н} \cdot \text{м}^{-2}$ приводит к усложнению математических расчетов по обычным формулам, выражающим тот или иной закон.

Пример: удельная теплоемкость воды, ранее выражаемая $1 \text{ кал} \cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, теперь имеет значение $4,1868 \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$, (приблизительно $4,2 \text{ м}^2 \cdot \text{сек}^{-2} \cdot \text{град}^{-1}$), давление в 1 торр (*мм рт. ст.*) заменяется величиной $133,32 \text{ н} \cdot \text{м}^{-2}$, или $133,32 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^{-2}$, 1 атмосфера — $98066,5 \text{ м кг} \cdot \text{сек}^{-2}$, или *прибл. 9,8 · 10 м кг · сек⁻²*. Совершенно очевидно, что введение подобных единиц, порождающих усложнение расчетов, в рамках начальных классов школ должно быть проведено с определенным чувством меры. Вот почему наряду с использованием новых единиц мы сохранили и в этом томе единицы, принятые в уже вышедших томах, а именно: единицу теплоты,—

килокалорию (*ккал*), единицы давления — техническую атмосферу (*ат*) и торр как обозначение давления 1 мм ртутного столба, килопонд (*кп*) как единицу силы, канделу (*кд*) как единицу силы света, литр (*л*) как единицу объема, емкости, памятуя, что эти внесистемные единицы соответственно равны: килокалория — 4186,8 джоуля, или $\approx 4200 \text{ кг}\cdot\text{м}^2\cdot\text{сек}^{-2}$; техническая атмосфера — $98066,5 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-2}$, или $\approx 9,8\cdot 10 \text{ кг}\cdot\text{м}\cdot\text{сек}^{-2}$; торр (*мм рт. ст.*) — $133,32 \text{ н}\cdot\text{м}^{-2}$, или $\approx 133 \text{ кг}\cdot\text{м}\cdot\text{сек}^{-2}$; килопонд (*кп*) — $9,80665 \text{ н}$ $\approx 9,8 \text{ н}$; литр — $1\cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

Указанные приближенные значения и взяты нами для пересчета величин, приводимых немецкими авторами.

В подготовке издания пришлось также в некоторых случаях отказаться от принятых авторами обозначений физических величин, заменив их принятыми в советской школе.

Все отклонения от текста авторов оговорены.

Большинство оригинальных экспериментов было проведено автором перевода на базе 29-й и 243-й школ Ленинграда.

Проф. П. А. Знаменский

Проф. П. А. Рымкевич

А. П. Ломан

ВВЕДЕНИЕ

1. Общие замечания*. Проведение экспериментов по разделу «Теплота», как, впрочем, и по другим разделам физики, должны базироваться на совершенно определенном методологическом и строго научном представлении, касающемся круга рассматриваемых явлений. В этом разделе физики, вне зависимости от возрастного контингента учащихся, красной нитью должно проходить представление о тепловых процессах как об одной из форм движения материи, представляющей собой беспорядочное движение образующих тел микрочастиц — молекул, атомов, электронов и т. п. Вот почему особое значение имеет эксперимент, подтверждающий броуновское движение, и исключение этого эксперимента из числа демонстраций совершенно недопустимо (см. вышедшую ранее 2-ю часть настоящего руководства **).

Количественная характеристика этой формы движения может быть дана определением количества теплоты, либо передаваемой от одного тела, более нагретого, другому, менее нагретому, за счет убывания в передающем теплоту теле его внутренней энергии, либо за счет работы внешних сил, приводящей, например, к деформации тела и тем самым к изменению внутренней энергии тела, над которым совершается работа. Единицей количества теплоты может служить обычная единица энергии — джоуль. Однако наряду с этой единицей энергии, которая в настоящее время введена как основная в системе единиц СИ, в практике сохранились особые единицы теплоты: калория и килокалория. Последняя определяется как количество теплоты, необходимое для повышения температуры 1 кг химически чистой воды на 1°C (от $19,5^{\circ}\text{C}$ до $20,5^{\circ}\text{C}$), что соответствует 4186,8 дж, или приблизительно 4200 дж. Необходимость сохране-

* Пункт 1 составлен нами. (Прим. перев.)

** Р. Гирке и Г. Шпрокхоф, Эксперимент по курсу элементарной физики, ч. 2, Жидкости и газы, Учпедгиз, 1958.

ния этой единицы в практике школ, а возможно и в технике, диктуется простотой обращения с этой единицей.

2. Некоторые методические замечания, относящиеся к начальной стадии изучения физики. Трактовка учения о теплоте на основе молекулярно-кинетической теории, закон сохранения энергии при тепловых процессах и представление о теплоте как особой форме движения материи и связанный с этим вопрос о переходе внутренней энергии в другие формы, в частности в механическую, — все это является прочной научной базой для понимания многих других законов природы и их технического применения.

В мастерских, а в старших классах и непосредственно на промышленных объектах, заводах и фабриках, учащиеся встречаются с работой паровых двигателей, двигателей внутреннего сгорания, дизелей, компрессорных установок и т. п. Достаточно полное понимание работы таких машин возможно лишь в том случае, если учащиеся поймут физическую сущность происходящих в тепловых машинах и двигателях процессов и будут знать соответствующие законы физики. В такой же мере это относится и к непосредственной работе учащихся у таких станков, как сверлильный, токарный, фрезерный и др., где они встречаются с нагреванием деталей, инструментов и где они знакомятся с приспособлениями и приемами охлаждения. То же имеет место при работе учащихся в сельском хозяйстве. И здесь они встречаются с целым рядом современных машин, механизмов и приспособлений, таких, как трактор, автомобиль, вентиляционные устройства, кондиционные установки, молокоохладильники, теплицы, паровые отопительные системы и т. д., понимание основ работы которых требует знания законов физики.

Принимая во внимание большое значение учения о теплоте как для общего, так и особенно для политехнического образования учащихся, следует четко определить задачи этого раздела курса физики и методы их решения в рамках настоящего руководства, то есть в пределах экспериментального решения проблемы.

На первой ступени обучения учащиеся знакомятся с основными понятиями, связанными с процессами нагревания и получения теплоты, измерением температуры и поведением тел при нагревании. При этом целесообразно увязать прохождение материала с ранее пройденными темами курса: свойствами твердых, жидких и газообразных тел. В разделах: «Передача теплоты» и «Конвекция в жидкостях и газах» (с элементами метеорологии) учащиеся больше, чем в предыдущих темах, знакомятся с физическими явлениями в связи с их техническими применениями. На данной ступени обучения целесообразно научить видеть, наблюдать и описывать различные проявления теплоты, хотя бы на примере связи теплового излучения Солн-

ца с процессом таяния снега и льда, на примере круговорота воды в природе и образовании ветров. Для этого и должны быть подобраны соответствующие эксперименты.

Следует иметь в виду, что ряд вопросов, изучаемых на первой ступени обучения, должен быть вновь рассмотрен на более высокой ступени обучения с повторной демонстрацией экспериментов, в отдельных случаях усложненных, так как учащиеся в силу возрастных особенностей и накопленных знаний будут лучше подготовлены к абстрактному мышлению и к количественному анализу экспериментов.

Начальным шагом в количественном подходе к эксперименту на первой стадии изучения физики может быть наблюдение за нагреванием воды до точки кипения, с построением графика зависимости температуры воды от времени нагревания, то есть от затраты внешней энергии.

Для подавляющего числа уроков по теме «Теплота» должны быть подготовлены простейшие демонстрационные эксперименты на самодельном оборудовании, различные варианты которых описаны в настоящей части руководства.

Для повышения знаний учащихся следует наряду с самостоятельным экспериментом в лабораторных работах проводить и домашний эксперимент. Во всех случаях желательно, чтобы учащиеся сами подготавливали все необходимое оборудование, что приведет к развитию в них чувства самостоятельности, ответственности и придаст им уверенность в своих силах, а в работе разовьет инициативу и повысит интерес к предмету.

3. Об экспериментах по молекулярно-кинетической теории. Описание экспериментов по молекулярно-кинетической теории приведено в изданной ранее 2-й части настоящего руководства. Однако учение о теплоте на более высокой ступени обучения следует начать с рассмотрения этой теории; при этом на вводных уроках необходимо, повторяя материал, пройденный ранее, повторить и соответствующие эксперименты.

4. О характере приведенных в руководстве экспериментов. Как во всем руководстве, так и в этой его части нашла отражение единая методическая концепция: проведение экспериментов в школах на всех ее ступенях должно осуществляться на наиболее простом и в большей части самодельном оборудовании, а в том случае, когда нельзя избежать применения приборов и приспособлений заводского изготовления, схема сборки должна быть наиболее простой. Вот почему приведенные в этой части руководства эксперименты в подавляющем числе просты, и схемы их собраны из обычных для лабораторной практики приспособлений и деталей.

5. К пользованию руководством. Эта книга ни в какой мере не может заменить учебника и предполагает, что ее

читатель, учитель или лаборант школы, обладает достаточными знаниями по разделу «Теплота». Поэтому в ней нет теоретической части и помещены лишь указания по проведению экспериментов, а теоретические вопросы поднимаются в том случае, если это необходимо для понимания хода эксперимента.

Каждая глава книги сопровождается «Методической запиской», в которой рассматриваются необходимые общие указания к описанным в данной главе экспериментам. В тексте книги ссылки на методические записки даются сокращением: М. З. §...

Перед описанием каждого эксперимента приводится перечень оборудования и материалов с указанием, где это необходимо, соответствующих размеров.

Ряд экспериментов сопровождается примечаниями, помещенными после описания хода работы и содержащими указания по технике проведения опыта или техническому значению рассматриваемого и иллюстрируемого экспериментом явления.

Эксперименты, которые могут быть проведены в порядке лабораторной работы, отмечены в оглавлении книги особым знаком «*».

Эксперименты, проведение которых может быть в какой-то мере опасным для учащихся, отмечены восклицательным знаком, помещенным в скобках после заголовка. Знак предупреждает учителя и экспериментатора об опасностях пожара, вспышки, отравления, взрыва, вызванного химической реакцией или повышенным и соответственно пониженным давлением, обмороживания, а также ожога от огня или от пользования химикатами.

ГЛАВА I

ОБОРУДОВАНИЕ И ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ТЕПЛОТЕ

1. Удачное проведение экспериментов зависит от выбора источников нагревания; вот почему мы им отводим несколько больше места. До сего времени существует некоторое опасение при подаче газа от общей городской сети в школы и, в частности, в учебные кабинеты; даже в городах с разветвленной газовой сетью в ряде кабинетов физики нет газопровода. Мы не видим причин опасаться применения газовых нагревателей, которые не более опасны, чем электрические, где наряду с опасностью ожога прибавляется опасность поражения током, и считаем возможным применение газовых горелок даже при проведении лабораторных работ, для чего не только стол учителя, но и столы учащихся должны иметь подводку газа от городской сети. В крайнем случае следует пользоваться спиртовыми горелками, лабораторными керогазами, лампами Бартеля или примусом.

2. Среди газовых горелок наиболее приемлемыми моделями являются горелки Бунзена и Теклю*. В обеих горелках отдельные участки пламени имеют различную температуру (рис. 1, а). Распределение температур в пламени может быть исследовано в порядке лабораторной работы самими учащимися с помощью применения жаростойкой термопары. Горелка Бунзена (рис. 1, б) состоит из металлической трубки 1, навинченной на тяжелую металлическую подставку 2. В трубку подается газ через боковой патрубок 3 на подставке. В нижней части трубки имеются два расположенных друг против друга отверстия 4, которые можно прикрывать, меняя доступ воздуха в трубку, специальной вращающейся муфточкой 5, одетой на трубку и снабженной рукояткой. В муфточке также имеются два отверстия, которые и следует совмещать в разной степени с отверстиями в трубке горелки, меняя тем самым их сечение. Поступающий в трубку воз-

* Последующий текст этой главы (п. 2—3) нами переработан применительно к горелкам и нагревателям, выпускаемым промышленностью РСФСР. (Прим. перев.)

дух смешивается с газом. При достаточном притоке воздуха смесь газ — воздух горит бесцветным пламенем, при этом происходит полное сгорание газа. В случае недостаточного притока воздуха пламя становится коптящим и светится (режим отжига стекла). При избытке воздуха пламя может проскочить в трубку, и тогда газ, вместо того чтобы гореть над отверстием

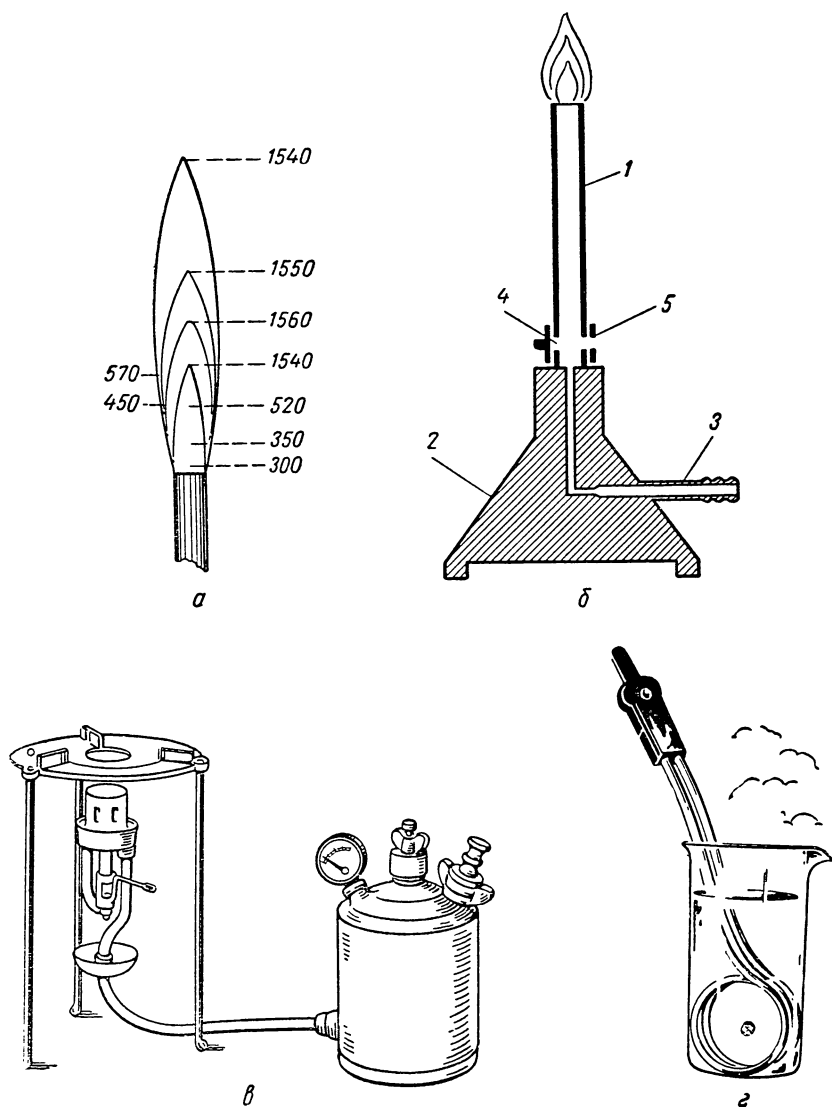


Рис. 1. Горелки и нагреватели.

трубки, горит внутри нее перед выходным отверстием. В этом случае газ необходимо немедленно перекрыть, дать остыть трубке 1 и только после этого открыть газовый кран, предварительно уменьшив доступ воздуха поворотом муфты, и вновь поджечь газ над верхним концом трубки.

В нормально горящем пламени различимы три конуса: внутренний — голубоватый, в котором еще нет горения, но температура газовой смеси близка к 300°C , средний — слабо-малиновый, где начинается горение газа, в этом конусе пламя имеет восстановительный характер и, наконец, внешний конус фиолетового пламени, где и происходит окончательное сгорание газа. Эта часть пламени носит окислительный характер. Это наиболее горячая часть пламени с температурами выше 1800°C .

Газовые горелки в школах, не подключенных к городскому газопроводу, естественно, могут быть заменены другими видами нагревателей, среди которых предпочтение должно быть отдано лампе Бартеля.

Лампа Бартеля (рис. 1, в) имеет устройство для регулирования пламени и отдельный бачок для бензина, соединенный с горелкой металлической трубкой. Давление, необходимое для подачи бензина к ниппелю горелки и для обеспечения нормального горения, создается насосом под контролем манометра, вмонтированного в крышку бачка. К недостаткам этой горелки надо отнести необходимость предварительного прогрева трубок с ниппелем, что осуществляется за счет горения бензина или спирта, наливаемого в чашечку, помещенную под трубками.

Спиртовка лабораторная — наиболее распространенный, но отнюдь не удобный нагреватель. В школьной практике применяют обычно две разновидности: со стеклянным резервуаром и металлическим. Стеклянный резервуар позволяет следить за его наполнением денатурированным спиртом, но при пользовании такой спиртовкой не исключена возможность ожогов в случае, если резервуар лопнет во время работы. Металлический резервуар практичнее, но наполнение его происходит без достаточного контроля. Особую заботу при работе со спиртовкой составляет их фитиль; лучше всего его изготавливать из хлопчатобумажных некрученых ниток. На спиртовках горелка съемная; в нее и продевается фитиль.

3. Электрические нагреватели особенно удобны во всех случаях, когда подогреваемым телом является жидкость, налитая в сосуд.

Погружаемый в жидкость нагреватель — электроспираль (рис. 1 г) — принадлежит к нагревателям с наибольшим коэффициентом тепловой отдачи. Электропромышленность выпускает подобные нагреватели, рассчитанные на различное напряжение (127 в и 220 в) и конструктивно отличающиеся от приведенного

на рисунке образца, но во всех случаях при пользовании нагревателями следует помнить, что нагреваемая часть спирали должна быть полностью покрыта жидкостью.

Электроплитки с керамикой и открытой или скрытой спиралью, так называемым элементом, удобны для подогревания жидкостей, налитых в сосуды с достаточно большим и плоским дном. Кроме электроплиток, выпускаемых электропромышленностью для бытовых целей, существуют малогабаритные лабораторные плитки, выпускаемые предприятиями учебной промышленности. Для проведения экспериментов пригодны любые их образцы. Малогабаритные электроплитки можно использовать не только поставив их на стол, но и в любом положении, закрепив в лапке штатива или установив на штативном кольце.

4. При проведении экспериментов по разделу «Теплота» особое значение имеет строгое соблюдение правил техники безопасности.

а) Пользование нагревателями с открытым пламенем таит, естественно, некоторую опасность получения ожогов, особенно, когда нагреватели даются учащимся на руки для проведения самостоятельных и лабораторных работ. Это ни в какой мере не говорит о том, что надо избегать пользоваться ими. Следует опасность ожога максимально снизить, для чего необходимо перед раздачей горелок с открытым пламенем провести соответствующее разъяснение; впрочем, это относится и ко всем приборам, даваемым на руки ученикам. Необходимо подробно рассказать ученикам об устройстве нагревателя и способах и приемах обращения с ним, демонстрируя приемы на совершенно таком же приборе, какой будет выдан для работы.

б) Ни один из нагревателей с резервуаром, наполняемым горючим, нельзя поручать заправлять ученикам. Заправку таких нагревателей и наполнение их резервуаров горючим (керосином, бензином или спиртом) должен предварительно сделать сам учитель или лаборант и выдавать ученикам только подготовленные, проверенные нагреватели.

в) Регулировку пламени можно поручить и ученикам, однако предварительно должны быть подробно объяснены соответствующие приемы. Регулирование горелок спиртовок должно проводиться только в том случае, если спиртовка потушена. Нарушение этого правила может привести к вспышке паров спирта в резервуаре спиртовки и тем самым к ее разрушению, а это может вызвать и ожог, и пожар.

г) При пользовании нагревателями с открытым пламенем необходимо принять меры предосторожности и против пожара. В помещении, где проводится эксперимент и применяются горелки Бартеля, примусы, керогазы и спиртовки, должны быть

ящики с песком, шерстяное одеяло и пенный или углекислотный огнетушители. Наполнение разрывуара горючим можно производить только при потушенных горелках, в местах, достаточно просторных, и, по возможности, вдали от предметов, которые легко могут воспламениться.

д) При пользовании газовыми горелками следует периодически проверять резиновые шланги, идущие от кранов газопровода. Зажигание горелок нужно проводить, соблюдая следующую последовательность: сначала пустить газ при закрытом доступе воздуха; зажженную спичку поднести только тогда, когда установится поток газа; после того, как загорится газ, можно дать приток воздуха и увеличивать его постепенно, однако до тех пор, пока пламя горелки остается спокойным. При слишком сильном притоке воздуха спокойное горение нарушается, сине-зеленоватый средний конус пламени начинает колыхаться с тенденцией опуститься вниз и «проскочить» внутрь трубки. В этом случае надлежит уменьшить приток воздуха. Если пламя все же проскочит в трубку, необходимо немедленно прекратить подачу газа и горелку потушить. Зажигать ее можно только после полного остывания трубки горелки.

е) Следует предусмотреть медицинскую помощь на тот случай, когда, несмотря на принятые меры, все же случаются ожоги. В кабинете должна быть небольшая аптечка, в которой на этот случай должна быть мазь от ожогов. Оказание первой помощи учителем возможно только в том случае, если ожог может быть отнесен к 1-й степени и, кроме покраснения, нет нарушения тканей. Во всех остальных случаях необходима квалифицированная медицинская помощь. При ожогах 2-й степени, то есть при появлении пузырей, достаточно помощь медицинского работника школы — медсестры. При более серьезных ожогах необходим немедленный вызов врача.

ж) При пользовании электронагревательными приборами возникает опасность не только температурного воздействия, но и поражения током. Нужно принять за правило выдавать учащимся только такие приборы, которые строго соответствуют техническим требованиям и совершенно исправны. Безусловно исключается пользование приборами, контактные клеммы которых не покрыты изоляцией.

Вопросы техники безопасности при работе с электроприборами нами достаточно подробно рассмотрены в вышедшей ранее 4-й части настоящего руководства в § 7, стр. 38—39.

з) В ряде экспериментов нами рекомендуется работа со ртутью. Но следует помнить, что неосторожное обращение с ртутью влечет за собой тяжелое отравление ртутными парами. Следует опасаться разбрызгивания и разливания ртути и особенно нагревания ртути до температуры, близкой к кипению ($+357^{\circ}\text{C}$). Ни одну из работ со ртутью нельзя проводить на ла-

бораторном столе, не подставив под установку специальную кювету, или доску с бортиками. Во всех случаях разбрызгивания или разливания ртути следует ее тут же самым тщательным образом собрать при помощи пипетки, описанной во 2-й части руководства в специальном приложении «Хранение и очистка ртути. Работа с ртутью».

и) В настоящей части руководства все работы, представляющие опасность для здоровья учащихся, имеют специальный предупреждающий аншлаг, значок, помещенный в заголовке эксперимента.

Надо помнить: ответственность при проведении эксперимента несет учитель или инструктор, проводящий занятие.

ГЛАВА II

ТЕМПЕРАТУРА И КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

§ 1. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА

1. Задача экспериментов, помещенных в главе II, состоит в том, чтобы ознакомить учащихся с двумя основными понятиями учения о теплоте: степенью нагретости, или температурой, и количеством теплоты. В § 1 этой главы главной задачей экспериментов является обучение учащихся пользованию термометром. Следует решить вопрос, каким из видов термометров отдать предпочтение при прохождении элементарного курса физики. Нет никакого сомнения в том, что в процессе преподавания учащиеся должны быть ознакомлены со всеми термометрами, с которыми они встречаются наиболее часто. Школы должны иметь хотя бы для демонстрации следующие термометры: комнатные, ваннные, наружные — для измерения температуры воздуха вне помещения, медицинские, технические — для котлов и измерения температуры кипящей воды, а также применяемые в стиральных машинах, газовых духовках, холодильниках и т. п.

Однако все указанные термометры, имея широкое применение в быту, совершенно непригодны для проведения школьных экспериментов, в которых термометр чаще всего вставляют в отверстия пробок, погружают внутрь колб. В этом случае пользование обычными бытовыми термометрами исключено, так как их не продеть через пробки, а при погружении в сосуды и колбы невозможно будет прочитать показания приборов. Таким образом, для целей преподавания нужны особые термометры — лабораторные или цилиндрические. Такие термометры нужно иметь в количестве, достаточном для фронтальных экспериментов.

В начале обучения несомненную трудность для учащихся составляет снятие показаний прибора, то есть чтение показаний, особенно до долей градуса, при шкале, разделенной на целые градусы. Для обучения чтению показаний термометра может быть применен демонстрационный термометр. Было бы желательно, чтобы учащиеся предварительно провели подобные упражнения с миллиметровой линейкой и привыкли бы «брать на глаз» десятые доли миллиметра.

Раздел открывается экспериментом 1, который позволяет показать учащимся ненадежность субъективной оценки температуры нагретого тела. Эксперимент подводит учащихся к представлению о необходимости в такой точной науке, как физика, применять и достаточно точные, надежные приборы. Наблюдение приводит к обобщенному выводу о необходимости измерительной аппаратуры. Эксперименты 2 и 3 знакомят учащихся с изготовлением термометров, баллончик которых наполнен жидкостью. При изучении курса элементарной физики достаточно ограничиться работой с термометрами, имеющими так называемую шкалу Цельсия — стоградусную. Шкалы Реомюра и Фаренгейта имеют лишь историческое значение и в научных исследованиях почти не применяются. Таким образом, интерес представляет только стоградусная шкала Цельсия и построенная на ее основе шкала Кельвина.

Большое значение имеют эксперименты 4 и 5, позволяющие определить и проверить постоянные точки стоградусной шкалы.

В экспериментах 7 и 8 описано применение термоэлементов — термопар — для измерения степени нагретости тел. Пользуясь ими, можно показать одновременно большому числу учащихся незначительные изменения температуры. Не следует опасаться применения термопары уже на начальном этапе обучения только на основании того, что учащиеся не смогут понять ее теории. Надо иметь в виду, что учащиеся на первой ступени обучения знакомятся с качественной стороной работы термопары, и здесь она является только удобным заменителем термометра при определении незначительных изменений температур.

2. Об используемых в процессе преподавания источниках тепла было уже сказано достаточно в главе I. В § 3 представлены эксперименты, которые показывают изменение внутренней энергии тела при различных обстоятельствах и по различным причинам. Так, в Э-9 демонстрируется сгорание ряда веществ. Существуют различные возможности исследования процесса горения, однако на данной ступени обучения мы должны ограничить себя экспериментами по сравнению температуры пламени для различных источников тепла при помощи термопары. Другие эксперименты, приведенные в том же параграфе, знакомят учащихся с возникновением теплоты при трении, опилровке и ударе, а также при измельчении вещества. Эти эксперименты подобраны так, что они перекликаются с наблюдениями учащихся при их работе в мастерских или на производстве. При этом не без основания вводится наряду с объективной оценкой степени нагретости при помощи термопар и термометров субъективная оценка нагретости путем ощупывания мест нагрева рукой.

Учителю следует рассмотреть процесс нагревания с молекулярной точки зрения, для чего нужно повторить эксперименты и прежде всего показать броуновское движение (в этом случае нужно обратиться ко 2-й части настоящего руководства, где в Э-121 дается демонстрация броуновского движения в воде и в Э-122 в воздухе).

3. Первое представление о количестве теплоты может быть дано при демонстрации эксперимента 13. В этом эксперименте показывается нагревание различного количества воды, имеющей одинаковую начальную температуру, на одном и том же источнике теплоты и за равное время. Нагревание можно вести на любой горелке, но лучше всего — при помощи погружаемого в воду нагревателя — электроспирали. В результате проведения эксперимента учащиеся устанавливают, что произведение массы взятой воды на прирост температуры остается величиной постоянной. Так учащиеся подходят к представлению о количестве теплоты. Эксперимент следует проводить со сравнительно небольшим количеством воды, что сэкономит время на проведение опыта. Учитель должен определить нужное наименьшее количество воды заранее, до вынесения эксперимента в класс. Если в школе нет погружаемых в жидкости нагревателей, при помощи которых можно пользоваться действительно малыми количествами жидкостей (порядка 100 г), то следует брать порции воды, позволяющие провести эксперимент за 45 мин — не менее 900 мл и не более 1500 мл.

4. Понятием, тесно связанным с количеством теплоты, является понятие удельной теплоемкости. Наиболее удобным, как мы думаем, для восприятия этого понятия является Э-23. В этом эксперименте предлагается вначале смешать одинаковое количество холодной и горячей воды, а затем — определенное количество холодной воды с равным количеством нагретого глицерина или другой жидкости. Учащиеся убеждаются, что если при смешивании равных количеств различно нагретой воды температура смеси является средней между температурами холодной и горячей воды, то при смешивании воды и глицерина такого соотношения нет. Этот факт следует объяснить различной теплопоглощаемостью разных жидкостей, то есть тем, что различные жидкости требуют разных количеств теплоты для нагревания равных масс. Отсюда нетрудно перейти к понятию удельной теплоемкости.

Остальные эксперименты этого параграфа (§ 4) удобны для проведения их в порядке лабораторных работ; они принадлежат к количественным экспериментам. Подобные эксперименты проводятся методом, который обычно называют калориметрическим. В этих экспериментах нагретое вещество смешивается с более холодным, чаще всего с водой (Э-16). Чтобы при измерении температуры уменьшить ошибки, следует принять за пра-

вило: более нагретое вещество вливать или погружать в более холодное, в этом случае можно проводить измерение температуры уже через некоторое время, как только при наблюдении по термометру будет видно, что после постепенного повышения она становится постоянной. Если смешивание проводить в обратном порядке, приливая холодную жидкость в более нагретую, или холодное тело погружать в горячую жидкость, то температура резкого падения начинается медленное ее выравнивание. И это может привести к значительным ошибкам в измерении температуры смеси.

Проведение экспериментов калориметрическим методом ставит вопрос о наиболее целесообразном типе калориметра. Здесь первое место принадлежит калориметрам заводского изготовления. Они обычно состоят из внутреннего сосуда вместимостью от 300 до 1000 мл, изготовленного из тонкого листового металла — нейзильбера или латуни. Внутренний сосуд помещают во внешний, большего диаметра; под дно внутреннего сосуда подкладывают термоизолирующие подкладки — пробковые или деревянные. Верхний край внутреннего сосуда желательнее иметь ниже стенок наружного сосуда на 10 мм. Стенки и днища сосудов не должны соприкасаться. Внешний сосуд должен закрываться теплоизолирующей крышкой из дерева или прессшпана, но в крышке должны быть прорези или отверстия для термометра и проволочной мешалки.

Можно, однако, использовать и самодельные калориметры, особенно при проведении самостоятельных работ учащихся. Такие калориметры можно изготовить из двух входящих одна в другую консервных банок с вырезанными крышками. Надо не забыть при этом затупить режущие края вскрытых банок. Не менее удобными являются и калориметры из двух входящих один в другой химических стеклянных стаканов. Под внутренний стакан следует не забыть подложить кусочки пробки. В ряде описанных экспериментов даются указания, касающиеся использования самодельных калориметров.

§ 2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

1. Ошибочность ощущений при субъективной оценке температуры воды

4 тазика или 4 других вместительных сосуда; 2 химических стакана (по 1 л) или 2 других глубоких сосуда; погружаемый в воду электронагреватель-спираль; бунзеновская горелка или спиртовка; треножник; асбестированная сетка; термометр ($0^{\circ}\text{C} - +100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°).

Подготовка эксперимента

Четыре тазика наполняют водой. При этом тазик *I* (см. рис. 2) — холодной, температурой около 15°C , тазик *IV* — горячей, температурой около 45°C , а тазики *II* и *III* — теплой, температурой около 30°C , средней по отношению к первым

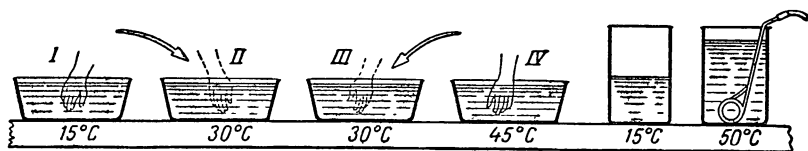


Рис. 2. Субъективное восприятие температуры.

двум. Могут быть взяты и другие температуры, но во всех случаях в тазах *II* и *III* температура воды должна быть средней по отношению к температурам в тазах *I* и *IV*.

Предварительный эксперимент

Несколько учеников вызываются для того, чтобы по ощущению кожи рук установить температуру в тазах *II* и *III*. Для этого ученик, очередь которого подошла, сначала погружает на некоторое время одну руку в тазик *I*, а другую — в тазик *IV*, а затем быстро их переносит соответственно в тазики *II* и *III*. Ученики, проводящие эксперимент, будут утверждать, что в тазике *II* вода теплее, чем в тазике *III*.

Эксперимент

Для того чтобы эксперимент был учащимися осмыслен, его проводят еще раз, но для этой цели берут два больших химических стакана, один с холодной (около 15°C), другой с горячей (около 50°C) водой. В тазики *I* и *IV* наливают: в один — половину холодной воды, в другой — половину горячей. Остаток холодной и горячей воды сливают в химический стакан и тщательно перемешивают. После этого смешанную воду разливают по тазакам *II* и *III*. Во всех тазах измеряют температуру.

Хотя ученики знают, что в тазах *II* и *III* вода имеет одинаковую температуру, каждому из повторяющих предварительный эксперимент в новых условиях будет казаться, что вода в тазике *II* теплее, чем в тазике *III*.

Примечание

Можно эксперимент проводить и с тремя тазами, но в этом случае средний должен быть настолько большим, чтобы в него можно было одновременно погрузить обе руки, но так, чтобы руки не соприкасались.

2. Наполнение термометрической трубки ртутью (!)

Термометрическая трубка; кристаллизатор (100 мм); ртуть; бунзеновская горелка; деревянный зажим; химический стакан (1 л); ванна-кювета для проведения экспериментов с ртутью.

Термометрическую трубку с оттянутым открытым концом, держа в деревянном зажиме (рис. 3), проводят через пламя бунзеновской горелки и открытым концом погружают в ртуть, налитую в кристаллизатор. Затем трубку, и прежде всего баллончик,

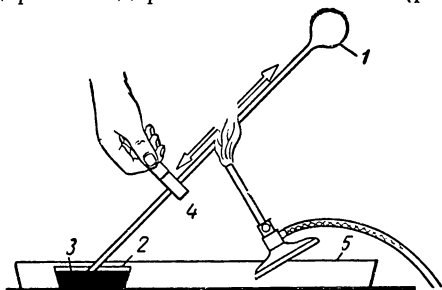


Рис. 3. Наполнение ртутью термометрической трубки:

1 — термометрическая трубка; 2 — чашечка для ртути; 3 — ртуть; 4 — деревянный зажим; 5 — кювета для проведения опытов с ртутью.

прогревают в пламени бунзеновской горелки до тех пор, пока не прекратится выделение пузырьков воздуха. Прервав прогревание, дают трубке остыть. При этом ртуть входит в капилляр трубки, заполняет баллончик. Если заполнение баллончика произойдет, то трубку осторожно

переворачивают и переводят в вертикальное положение баллончиком вниз. Теперь подогревают баллончик до тех пор, пока столбик ртути в капилляре не поднимется почти до верхнего конца трубки, и тогда трубку запаивают на пламени.

Если после первого прогревания трубки и баллончика не будет достигнуто полного его наполнения, то весь процесс следует повторить.

После изготовления модели термометра достаточно нагреть баллончик рукой, чтобы убедиться в том, что столбик ртути в трубке будет подниматься. Поместив модель в холодную воду, налитую в химический стакан, можно наблюдать понижение уровня ртути в трубке.

Примечания

1. Так как пары ртути ядовиты, следует избегать чрезмерного нагревания. Во всяком случае нельзя допускать нагревания ртути до температуры, близкой к точке кипения ($+357^{\circ}\text{C}$).

2. Можно изготовленный подобным образом термометр снабдить шкалой из полоски картона, как это указано в Э-4.

3. Вся работа проводится в специальной кювете для опытов с ртутью (см. часть 2 настоящего руководства).

3. Модель термометра с водяным наполнением

Круглодонная колба (100 мл); резиновая пробка с отверстием под капилляр; капиллярная трубка с вытянутым концом (длина 300 мм); бунзеновская горелка или спиртовка; треножник; асбестированная сетка; полоска картона (50 мм×300 мм); химический стакан (500 мл); термометр (0°С — +100°С с ценой деления в 1°); водные красители или чернила.

Изготовление модели

Небольшую круглодонную колбу (рис. 4) наполняют до краев подкрашенной водой и затыкают резиновой пробкой со вставленным в нее капилляром. При этом ни в капилляре, ни в колбе не должно оставаться пузырьков воздуха. Так как колба была наполнена водой до краев, то при затыкании ее пробкой часть воды входит в капилляр. Высота столбика воды, вошедшей в капилляр, должна быть около 100 мм. При осторожном нагревании колбы вода в капилляре должна подняться почти до его верхнего края, не доходя до него примерно на 10 мм, после чего капилляр запаивают. На капилляр надевают полоску картона, для чего в ней делают двойные прорезы.

Эксперимент

Колбу, моделирующую баллончик термометра, помещают в большой химический стакан с теплой водой. Для нанесения отметки на картонную полоску, соответствующей температуре воды в стакане, следует в воду, налитую в стакан, поместить обычный лабораторный термометр и штрихи нанести в соответствии с показанием последнего. Надо иметь в виду, что вода в колбе отнимает больше тепла, чем ртуть в обычном термометре,

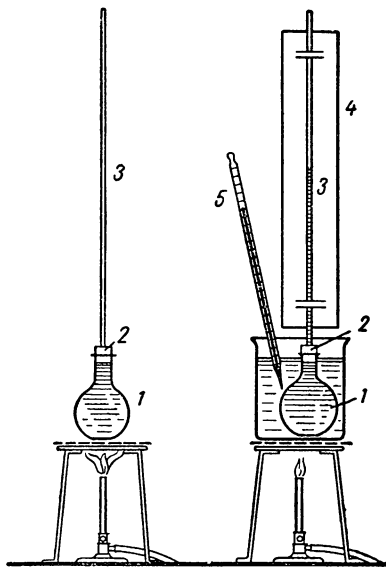


Рис. 4. Модель термометра:
1 — колба; 2 — резиновая пробка; 3 — капиллярная трубка; 4 — полоска картона; 5 — контрольный термометр.

поэтому выравнивание температур происходит медленнее и, кроме того, показания лабораторного термометра до погружения модели термометра в воду и после ее погружения различны. Чтобы выдержать температуру воды в стакане постоянной, целесообразно стакан поместить на треножник, подложив асбестированную сетку, и воду подогреть при помощи бунзеновской горелки.

Примечание.

Изменяя температуру воды в стакане нагреванием, можно нанести на самодельную шкалу несколько точек, соответствующих определенным температурам, а затем, разделив расстояние между ними на равные отрезки и нанеся штрихи, градуировать шкалу.

4. Установление постоянных точек термометра, не имеющего готовой шкалы

Термометр без шкалы; полоска картона (60 мм × 300 мм); метровая линейка с миллиметровыми делениями и указателем; воронка (120 мм); колба широкогорлая (500 мл); штатив с лапкой и кольцом; асбестированная сетка; химический стакан; бунзеновская горелка; лед.

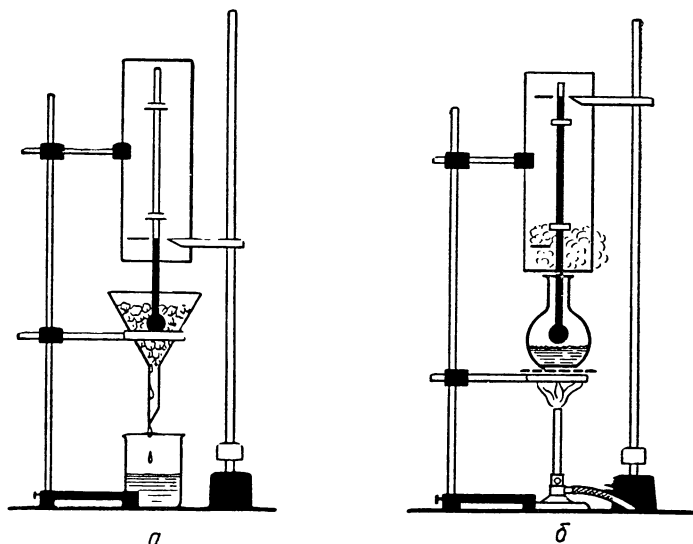


Рис. 5. Установление постоянных точек термометра:
а — точка плавления льда 0°C ; б — точка кипения воды $+100^{\circ}\text{C}$.

1. Баллончик термометра, лишенного шкалы (рис. 5, а), погружают в лед, насыпанный в воронку. Через некоторое время устанавливается температурное равновесие. Высоту столбика ртути наносят штрихом на картонную полоску, что соответствует нижней постоянной точке термометра — точке таяния льда.

2. Баллончик термометра вводят в горлышко колбы (рис. 5, б), наполненной кипящей водой. Баллончик должен находиться возможно ближе к поверхности кипящей воды. Как только прекратится поднятие столбика ртути в термометрической трубке, на картонную полоску наносят соответствующий штрих, фиксируя вторую постоянную точку термометра — точку кипения воды.

Примечания

1. Можно воспользоваться и готовым термометром, прикрыв его шкалу полоской картона. Эксперимент рекомендуется провести несколько раз, чтобы убедить учащихся в неизменности постоянных точек.

2. Эксперимент проводится в порядке лабораторной работы. Если, однако, его следует провести как демонстрационный, то положение постоянных точек на шкале демонстрируется при помощи указателя линейки.

5. Проверка правильности нанесения на шкалу лабораторного термометра постоянных точек

Приборы те же, что и в Э-4; кроме того, термометр (от -10°C до $+150^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°).

Установление точки таяния льда и точки кипения воды, как постоянных точек термометра, проводится так, как это описано в Э-4 (рис. 6). Наблюдаемое отклонение указанных точек от соответствующих делений шкалы термометра записывают и составляют таблицу поправок к данному термометру. Это позволяет, с одной стороны, опре-

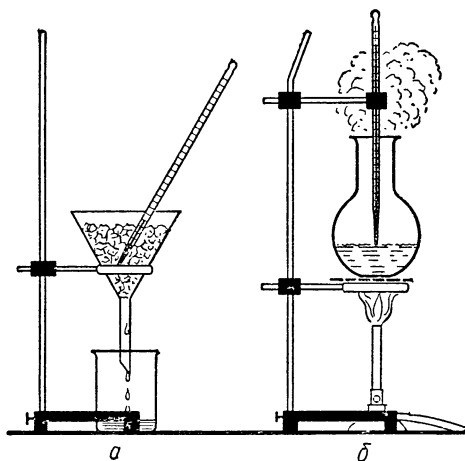


Рис. 6. Проверка постоянных точек шкалы термометра

а — точка плавления льда; б — точка кипения воды.

делить правильность показаний данного термометра, а с другой — сопоставить показания одного термометра с показаниями другого, того же класса точности. Сравнивая имеющиеся в кабинете физики термометры, всегда можно найти такие, шкалы которых несколько отличаются друг от друга.

Примечание

Зависимость точки кипения воды от положения данного места исследования относительно уровня моря и изменения атмосферного давления следует объяснить учащимся, предварительно ознакомив их с характером зависимости точки кипения от давления на поверхность воды.

6. Измерение максимальных и минимальных температур при помощи термометра Сикса

Максимально-минимальный термометр Сикса; максимальный метеорологический термометр; минимальный метеорологический термометр; 2 химических стакана.

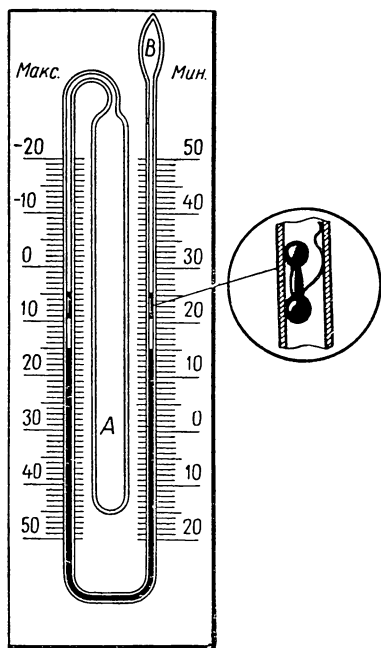


Рис. 7. Термометр Сикса.

Магнитом извлекают из ртути оба стальных штифтика в максимально-минимальном термометре Сикса (рис. 7). Подготовленный термометр опускают на несколько минут сначала в холодную, затем в горячую воду, налитую в химические стаканы. После этого термометр кладут на стол. Через некоторое время по положению столбика ртути в колене максимальных температур определяют комнатную температуру, а по положению стальных штифтиков — температуры горячей и холодной воды.

Эксперимент вызовет больший интерес, если измерение температуры провести в различных помещениях школьного здания: на чердаке, на лестницах, в коридорах, в подвале, в актовом зале.

Для этого с подготовленным максимально-минимальным термометром следует направить ученика в выбранные два помещения, где он и должен пробыть несколько минут, после чего вновь возвратиться в кабинет физики

или класс, где проходит урок. Там и определяют положение стальных штифтиков, что позволит провести обзор распределения температур в здании и найти места наивысшей и наиминимальной температуры. Следует иметь в виду, что распределение температур в здании меняется в зависимости от времени года, характера отопления и других причин.

Примечания

1. Наряду с максимально-минимальным термометром Сикса желательно провести подобный эксперимент с горизонтальными максимальным и минимальным термометрами, применяемыми в метеорологии (рис. 8).

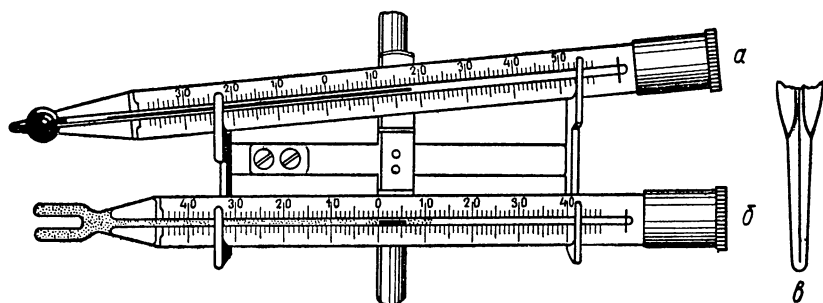


Рис. 8. Максимальный (а) и минимальный (б) метеорологические термометры; (в) — устройство резервуара максимального термометра. Виден стеклянный волосок, входящий в капилляр термометра.

2. Максимально-минимальный термометр Сикса принадлежит к спиртовым термометрам. Спиртом полностью наполняют изогнутое колено, не имеющее баллончика, и лишь частично — другое колено. Баллончик термометра тем самым наполнен только парами спирта. Столбик ртути, разделяющий спирт на две неравные части, служит лишь как толкатель стальных штифтиков с пружинками, помещаемых над ртутью в обоих коленах термометра. При повышении температуры спирт расширяется и смещает ртутный столбик в сторону баллончика, то есть в сторону с отметкой «максимальная». Столбик ртути в свою очередь толкает в ту же сторону стальной штифтик. При перемещении ртути в обратном направлении, что происходит при понижении температуры, штифтик, прижатый к стенкам капилляра пружинкой (рис. 7), в силу трения остается на месте, и по его положению судят о максимальной температуре.

При понижении температуры длина столбика спирта в левом колене укорачивается, а пары спирта в баллончике продолжают давить на столбик ртути и смещают его в

сторону левого колена. Перемещающийся столбик ртути теперь толкает перед собой второй штифтик в сторону отметки «минимальная».

При внесении термометра в помещение с промежуточной относительно измеренных температурой спирт вновь несколько расширяется. При этом по положению штифтиков судят о максимальной и минимальной измеренной температуре, а по мениску ртути в колене максимальных температур судят о промежуточной температуре помещения. Перед каждым измерением штифтики при помощи магнита должны быть извлечены из ртути или смещены в капиллярах до соприкосновения с ртутными менисками.

7. Изготовление и использование самодельной термопары (термоэлемента)

Константановая и железная проволоки (длина каждой 300 мм); планка изолирующая с двумя контактными винтами; зеркальный гальванометр; соединительные провода; химический стакан; спички; свеча стеариновая; горячая вода; штатив.

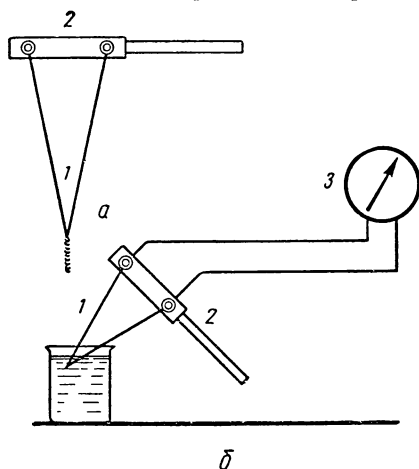


Рис. 9. Самодельная термопара (термоэлемент):

a — крепление термопары к изолирующей планке; *б* — включение термопары на гальванометр.

Изготовление термоэлемента

Одни концы константановой и железной проволок зажимаются под барашки зажимов, укрепленных на изолирующей планке, другие концы спаиваются. Свободные концы можно и не спаивать, а лишь хорошо зачистить и плотно скрутить. Таким образом будет получена простейшая термопара (термоэлемент), которую и соединяют с гальванометром (рис. 9).

Место спая или скручивания проволок, держа термоэлемент за изолирующую планку, подносят к источнику тепла и наблюдают за отклонением указателя зеркального гальванометра.

При достаточной чувствительности измерительного прибора даже незначительное нагревание термоэлемента вызывает

вполне различимое смещение указателя. При малой чувствительности прибора следует термоэлемент нагреть до более высокой температуры, опустив место спая в горячую воду или награв его на спичке или в пламени свечи. Для школьных целей целесообразно шкалу зеркального гальванометра проградуировать в градусах Цельсия или Кельвина (см. Э-8).

8. Измерение температуры при помощи термопары

Две термопары (термоэлемента) заводского изготовления; зеркальный гальванометр или милливольтметр с зеркальной шкалой; термометр (0°C — $+150^{\circ}\text{C}$, с ценой деления шкалы в 1°); константовая проволока (длина 250 мм); две железные проволоки (125 мм и 230 мм); три стеклянные трубки (внутренний диаметр 5 мм, длина 200 мм, 220 мм и 105 мм); два химических стакана; соединительные провода; штатив; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; два зажима-«крокодила» с соединительными проводами; лед; спички.

Готовые термопары, соединенные между собой последовательно, присоединяют к зеркальному гальванометру или милливольтметру (рис. 10). При этом концы константовых прово-

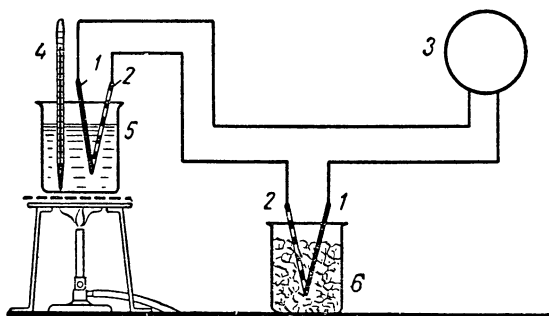


Рис. 10. Градуирование шкалы гальванометра:
1 — железная проволока термопары; 2 — константовая проволока; 3 — милливольтметр; 4 — термометр; 5 — стакан с нагреваемой водой; 6 — стакан с тающим льдом.

дов обеих термопар присоединяют к клеммам измерительного прибора, концы железных проволок соединяют проводами между собой. Одну из термопар погружают в лед, другую — в нагреваемую жидкость.

Нагревание воды, а значит, и одной из термопар контролируется при помощи термометра. Поскольку э. д. с. термотока почти

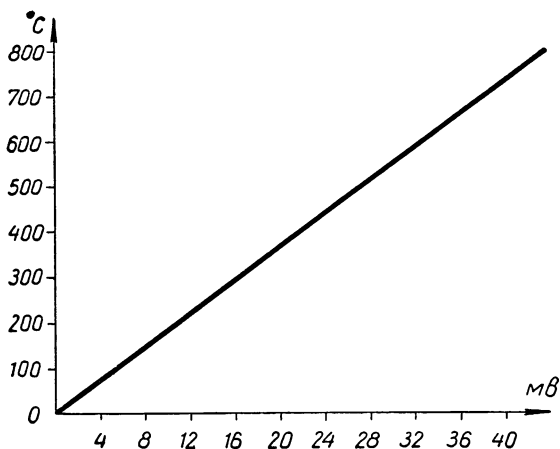


Рис. 11. График зависимости э. д. с. термотока железо-константовой термопары от температуры.

точно пропорциональна температуре, то шкалу гальванометра или милливольтметра можно рассматривать как обычную шкалу термометра и при надобности проградуировать в градусах Цельсия. При использовании железо-константовой термопары и нагревании ее до 800°C наивысшее значение возникающей э. д. с. порядка 40 мв (рис. 11).

Изготовление самодельного термоэлемента с двумя местами спаев

Термопара с двумя концами спаев может быть изготовлена самими учащимися. Для этого на каждой из двух стеклянных трубок длиной 220 мм и 105 мм на пламени горелки отгибают

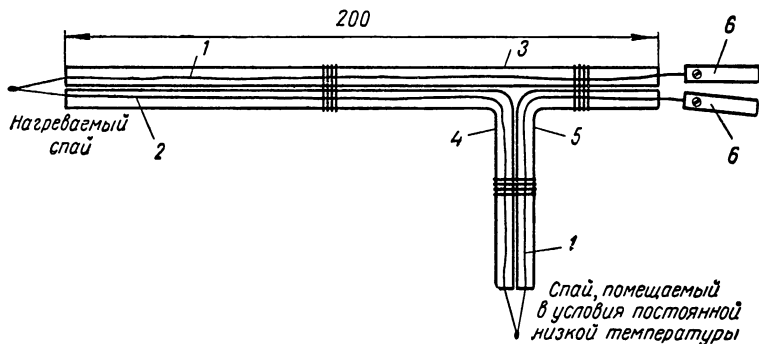


Рис. 12. Самодельная термопара с двумя местами спаев:

1 — железная проволока; 2 — константовая проволока; 3 — прямая стеклянная трубка; 4 — длинная изогнутая трубка; 5 — короткая изогнутая трубка; 6 — зажимы.

колена по 65 мм. Эти трубки с изогнутыми коленами привязывают к третьей трубке длиной 200 мм (рис. 12). Одну из железных проволок вводят в прямую трубку, другую — в короткую с изогнутым коленом. Константановую проволоку вводят в длинную изогнутую трубку, и концы константановой проволоки спаивают или после зачистки хорошо скручивают с концами железных проволок. Свободные концы железных проволок захватывают зажимами «крокодилами», соединительные провода которых присоединены к миллигальванометру. Зажимы «крокодилы» следует изолировать при помощи изоляционной ленты.

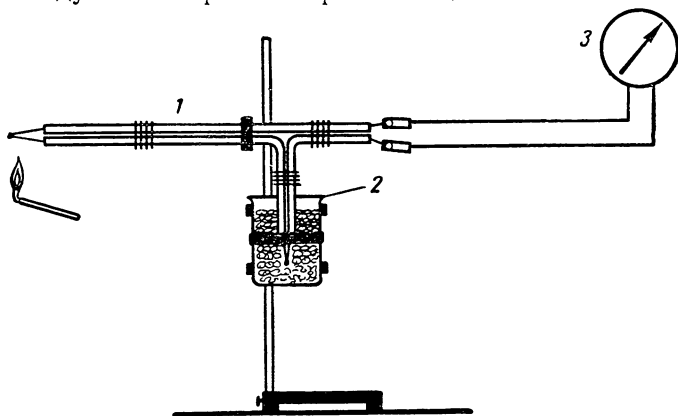


Рис. 13. Установка для демонстрации действия термопары с двумя местами спаев:

1 — самодельная термопара; 2 — упрощенный сосуд Дьюара;
3 — гальванометр.

Самодельный двойной термоэлемент укрепляют в лапке штатива так, чтобы короткие концы изогнутых стеклянных трубок, а значит, одно из мест спая железной и константановой проволоки были обращены вниз. Обращенные вниз отверстия стеклянных трубок следует заполнить и замазать сургучом и погрузить в лед, насыпанный в химический стакан. Вторым термоэлементом, место второго спая проволок, подвергают нагреванию (рис. 13).

Примечание

Использование готовых термоэлементов в процессе преподавания имеет большое политехническое значение, так как в современной технике термоэлементы (термопары) находят все большее применение для измерения температур (например, в печах накаливания). Соединение термоэлемента с милливольтметром является простейшим примером прибора для наблюдения на расстоянии за процессом нагревания — это один из элементов телемеханики.

9. Получение теплоты за счет сгорания топлива

Спички; стеариновая свеча; спиртовка; бунзеновская горелка; термопара; зеркальный гальванометр или милливольтметр; соединительные провода; изолирующая планка с контактными зажимами; подставки; два штатива.

Источники теплоты — спичку (рис. 14), стеариновую свечу, спиртовку и бунзеновскую горелку — располагают так, чтобы острия их пламени находились на одной высоте, для чего сле-

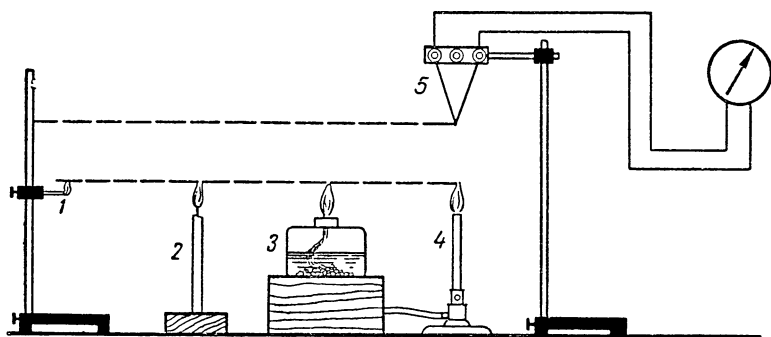


Рис. 14. Сравнение температуры пламени различных источников теплоты.

дует применить подставки или штативы. Для сравнения температур пламени следует применить термопару, соединенную с гальванометром или милливольтметром.

Термопару укрепляют горизонтально в лапке штатива так, чтобы спай или скрутка проволок находилась примерно на высоте 5 см над пламенем. Проводят термопару над каждым из установленных в ряд источников тепла. По отбросу указателя гальванометра или милливольтметра нетрудно установить, что температура на выбранной высоте над пламенем разных источников тепла возрастает в том же порядке, в каком они расположены.

При помощи термопары нетрудно определить и распределение температур в самом пламени бунзеновской горелки и найти участок наиболее высокой температуры (см. рис. 1).

Примечание

Высоту термоэлемента над пламенем следует определить в предварительном опыте так, чтобы при внесении спая проволоку в пламя бунзеновской горелки указатель гальванометра отбрасывался бы до конца шкалы.

10. Получение теплоты при трении и ударе

Две деревянные круглые палочки с заостренными концами из твердого дерева ($\varnothing 10$ мм, длина 400 мм и 200 мм); две дощечки из мягкого дерева (150 мм \times 200 мм); две дощечки из твердого дерева (150 мм \times 200 мм); гибкая деревянная круглая палка ($\varnothing 20$ мм, длина 1000 мм); две свинцовые пластинки (100 мм \times 200 мм); прочный шнур для тетивы лука; два кольца для подвески гардин; штатив с лапками; струбцинка; металлическая планка (5 мм \times 20 мм \times 200 мм); центробежная машина; электромотор; электрическая бормашина; пинцет; трут или другой легковоспламеняющийся материал; термопара или термометр; милливольтметр или зеркальный гальванометр; молоток; штатив.

Вариант 1. Моделирование древнего орудия для получения огня при помощи лука. Круглую тонкую палочку из твердого дерева, заостренную с нижнего конца (рис. 15), помещают в вертикальном положении в кольца, зажатые в лапках штатива. Заостренный конец палочки упирают в небольшое углубление в мягкой деревянной дощечке, положенной на стол. Верхний конец палочки должен упираться в планку так, чтобы палочка оказалась прижатой к мягкой дощечке. Шнур, служащий тетивой лука, один раз обкручивает вокруг палочки в ее средней части, между направляющими кольцами, и им, как тетивой, натягивают круглую гибкую палку лука.

Движением лука вправо и влево вызывают быстрое вра-

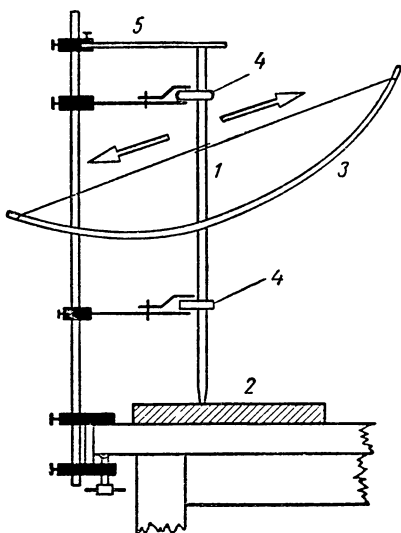


Рис. 15. Установка для демонстрации древнего способа добывания огня трением:

1 — круглая палочка из твердого дерева;
2 — дощечка-упор из мягкого дерева;
3 — самодельный лук; 4 — направляющие кольца; 5 — упорная планка.

шение палочки, при этом уже через короткое время можно почувствовать на ощупь значительное нагревание места трения круглой палочки о деревянную дощечку, а при помощи термопары нетрудно установить значительное повышение температуры.

Вариант 2. Нагревание при трении скольжения. Доска из твердого дерева (рис. 16), в которой напильником сделана бороздка для термопары, гвоздями прибивается к подставке. Место спая проводов термопары помещают в углубление в доске. Термопару размещают горизонтально и соединяют с зеркальным гальванометром. На прибитую доску накладывают

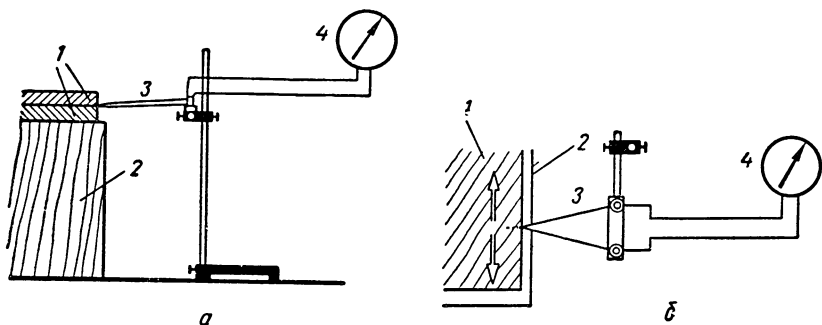


Рис. 16. Нагревание трением дощечек при их взаимном перемещении: а — вид сбоку; б — вид сверху; 1 — две дощечки; 2 — подставка; 3 — термопара; 4 — гальванометр.

сверху вторую доску. Прижимая верхнюю доску к нижней, перемещают ее вправо и влево, при этом гальванометр показывает значительное отклонение, что указывает на нагревание трущихся поверхностей.

Вариант 3. Нагревание при ударе. Поместив место спая или скрутки проводов термопары (рис. 17) между двумя свинцовыми пластинками, положенными на подставку, и соединив термопару с гальванометром, наносят по свинцовым пластинкам быстрый удар молотком. Указатель гальванометра при этом отклоняется, что свидетельствует о возникновении термотока как следствии нагревания свинцовых пластинок от удара.

Примечания к 1-му варианту

1. Этот эксперимент должен показать учащимся, какое большое усилие

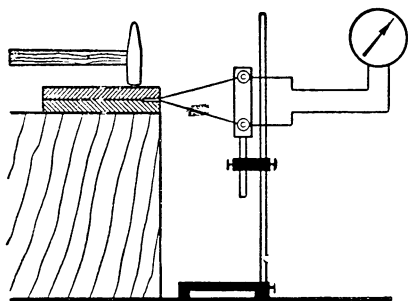


Рис. 17. Нагревание при ударе.

прикладывали первобытные люди для добывания огня при помощи примитивных орудий. Эксперимент, при правильном его освещении, поможет возбудить интерес к труду наших предков, а с другой стороны, позволит на одном из конкретных примеров оценить и весь исторический процесс развития техники получения огня.

2. Применяя вместо лука бормашину с электрическим двигателем, можно получить такое нагревание места трения, при котором внесенный пинцетом в место трения трут или другое легковоспламеняющееся вещество начнет тлеть. В этом случае в патрон бормашины с электрическим двигателем следует поместить заостренную палочку из твердого дерева и прижать ее в углубление дощечки из мягкого дерева. Спустя некоторое время после начала вращения начинается обугливание заостренного конца, и только после этого внесенный трут будет тлеть.

11. Эксперименты, демонстрирующие нагревание деталей и инструментов при механической обработке

В трудовой политехнической школе при сочетании обучения с производительным трудом представляется широкая возможность провести наблюдение за нагреванием обрабатываемых деталей и инструментов непосредственно на рабочих местах учащихся: в цехах завода или мастерских. При этом наблюдение целесообразно провести при распиловке металла (рис. 18, а), при опиловке напильником (рис. 18, б), при заточке инструмента (рис. 18, в), при обработке металла на фрезерном (рис. 18, г) и строгальном (рис. 18, д) станках.

Прервав работу, а на станках выключив станок и дождав-шись его остановки, исследуют нагревание обрабатываемых деталей и инструментов: а) пальцами на ощупь, б) термометром, приложив баллончик термометра к исследуемому месту, и в) термопарой.

При исследовании нагревания деталей, обрабатываемых на станках, станок следует включить на короткое время, не подавая охлаждающей смеси — эмульсоида.

П р и м е ч а н и е

Целесообразно продемонстрировать нагревание проволок или железных лент при их многократном изгибании (см. часть 1 настоящего руководства «Механика твердого тела»).

12. Нагревание при работе мешалки-мутовки и ручной сахарной мельницы

Мешалка-мутовка для сбивания мусса; ручная сахарная мельница для изготовления сахарной пудры; химический стакан (100 мл); термометр ($0^{\circ} - +100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); сахар (100 г).

Оба варианта этого эксперимента с бытовыми приборами наряду с описанными в Э-11 экспериментами производственного характера представляют несомненный интерес, как вскрывающие физические процессы при применении обычных для нас предметов.

1. В химический стакан наливают 500 мл воды и измеряют ее температуру. В воду погружают мешалку-мутовку и вращают ее около трех минут. После чего вновь измеряют температуру воды. Обычно удается установить нагревание воды на $1-2$ градуса (рис. 19).

2. В бункер ручной сахарной мельницы насыпают 100 г сахарного песка и измеряют его температуру, погрузив в сахар термометр. Затем мелют сахар примерно в течение двух минут,

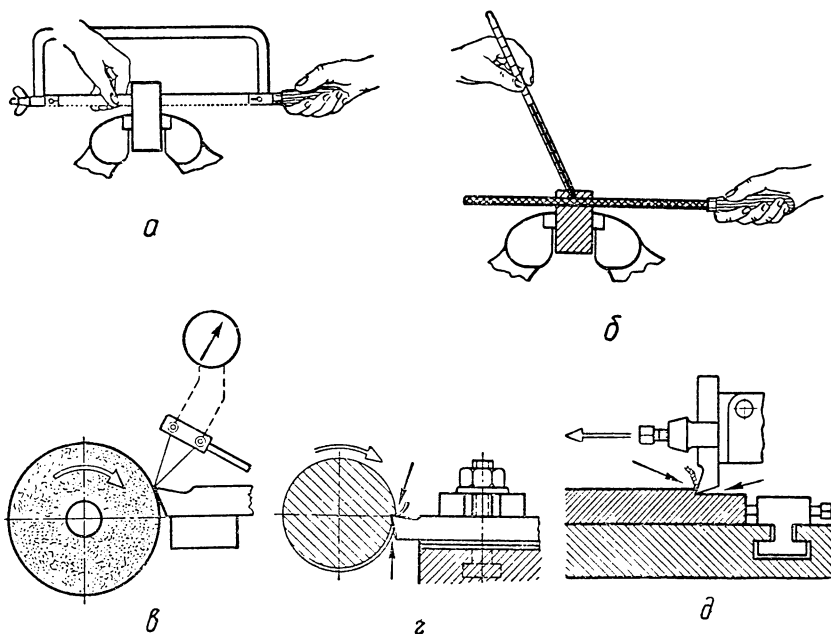


Рис. 18. Нагревание деталей и инструмента при механической обработке: а — нагревание при распиловке металла ножовкой; б — нагревание при опилковке напильником; в — нагревание при заточке инструмента; г — нагревание при токарной обработке; д — нагревание при строгании.

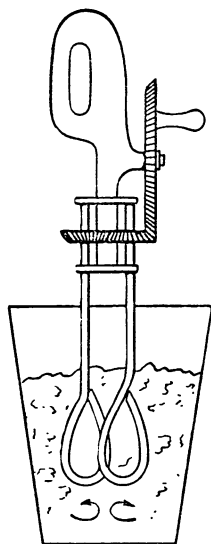


Рис. 19. Мутовка
для сбивания
мусса.

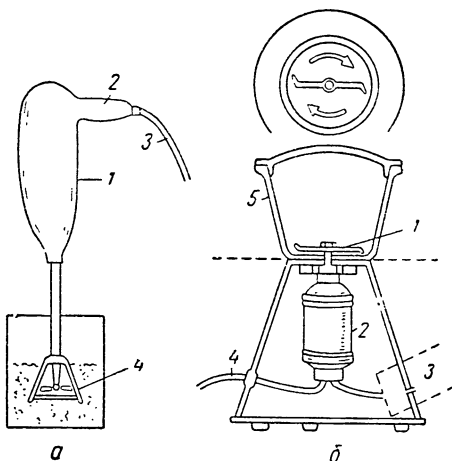


Рис. 20. Сахарная мельница:

а — ручная модель: 1 — пластмассовый корпус электромотора; 2 — рукоятка; 3 — электрический провод; 4 — рабочая часть с ножом; *б* — настольная модель: 1 — быстровращающаяся планка-нож; 2 — электромотор; 3 — выключатель; 4 — электрический провод; 5 — пластмассовый сосуд.
(Аналогичная настольная модель выпускается заводом «Электроаппарат» Ленинградского совнархоза.)

превращая его в пудру. После чего немедленно измеряют температуру полученной сахарной пудры. Обычно наблюдается повышение температуры на 10—12 градусов (рис. 20).

§ 4. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

13. Эксперимент, знакомящий с понятием количества теплоты

Три химических стакана (450 мл, 800 мл, 1000 мл); электронагреватель, погружаемый в воду; бунзеновская горелка или спиртовка; термометр (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); технические веса и разновесы; секундомер или часы с секундной стрелкой; асбестированная сетка; теплоизолирующая подставка; треножник; вода.

Воду, налитую в химический стакан, нагревают при помощи бунзеновской горелки, спиртовки или электроспираль и через каждые 30 секунд измеряют ее температуру (рис. 21). Для экс-

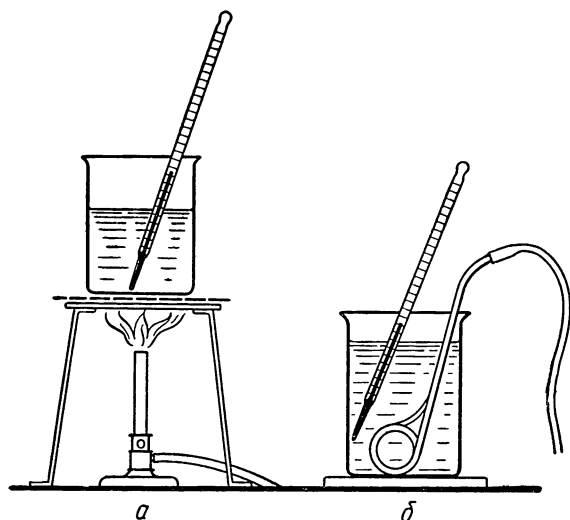


Рис. 21. Нагревание определенного количества воды:
а — при помощи бунзеновской горелки; *б* — при помощи электроспирали.

перимента берется примерно 0,3 кг воды. Значения температуры заносятся в табл. 1, и зависимость температуры воды от времени нагревания представляется графически (рис. 22).

Таблица 1

Зависимость температуры воды от времени
ее нагревания (для 0,3 кг воды)

Время, сек	0	20	60	90	130	150	180
Температура, °С.	18,0	20,0	22,8	25,8	29,0	33,2	37,2
Прирост температуры		2,0	2,8	3,0	3,2	4,2	4,0

Средний прирост температуры за 180 сек — около 3,2°. Однако прирост температуры непостоянен: вначале он меньше, затем несколько больше. Это объясняется тем, что первое время часть теплоты, даваемой горелкой, расходуется на прогревание асбестированной сетки, а затем идет в основном на нагревание воды. Вот почему наиболее выгодно использовать в эксперименте электроспираль-нагреватель, погружаемый в воду, так как он почти без потерь отдает свое тепло жидкости.

2. Второй вариант эксперимента проводится с различным количеством воды, наливаемой в различные по вместимости хи-

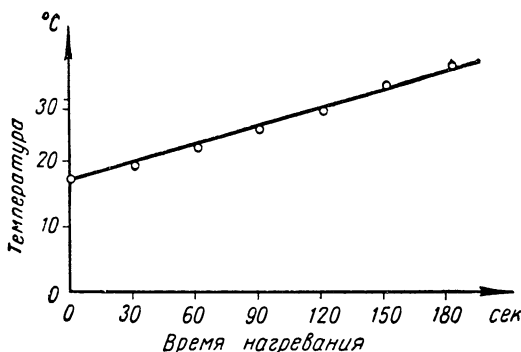


Рис. 22. График зависимости температуры определенного количества воды от времени нагревания.

мические стаканы: 0,3 кг воды в стакан вместимостью 450 мл, 0,6 кг в 800 мл и 0,9 кг в стакан вместимостью 1000 мл с таким расчетом, чтобы электроспираль была максимально погружена в воду.

Полученные данные позволяют построить соответствующий график зависимости температуры воды от времени ее нагревания (рис. 23).

Из приведенного примера становится очевидно, что произведение массы воды на разность температур до нагревания и после нагревания (прирост температуры) в хорошем приближении достаточно постоянно. Это постоянство сохраняется, потому что прирост температуры обратно пропорционален массе взятой воды. Другими словами: время, за которое различные количества воды при нагревании достигнут одной и той же температуры, пропорционально количеству воды. Тем самым произведение массы воды на прирост температуры можно рассматривать как некую меру количества теплоты.

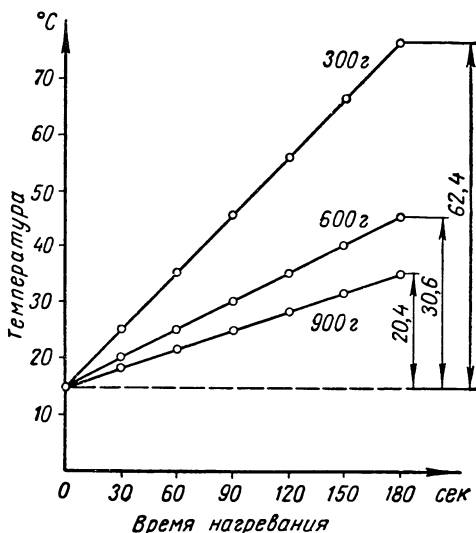


Рис. 23. График зависимости температуры различных количеств воды от времени нагревания.

14. Эксперимент, знакомящий с понятием удельной теплоемкости

Приборы те же, что и для Э-13; кроме того, кусок железа или гири (0,5 кг); кусок прессшпана.

Во внутренний стакан калориметра вливают 1 кг воды. Предотвращая потерю тепла с поверхности воды, внешний стакан прикрывают крышкой из прессшпана, в которой проделаны прорезы для термометра и рукоятки электрического нагревателя. Подложив термоизолирующую подставку, в воду погружают термометр и электрический нагреватель (рис. 24).

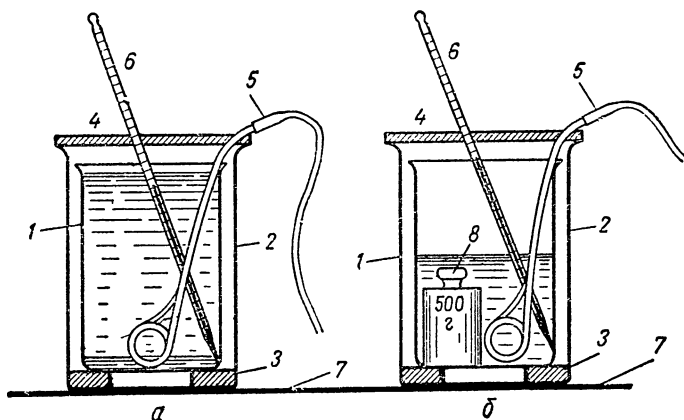


Рис. 24. Вводный эксперимент по определению удельной теплоемкости:

а — нагревание полного количества воды; **б** — нагревание половинного количества воды с компенсацией массы другим телом; 1 — внутренний стакан калориметра; 2 — внешний стакан; 3 — куски пробки; 4 — крышка калориметра; 5 — электроспираль; 6 — термометр; 7 — термоизолирующая подкладка.

Электронагревателем нагревают налитый во внутренний стакан калориметра 1 кг воды в течение трех минут. Температура воды повысилась на $7,1^{\circ}\text{C}$, т. е. на ее нагревание пошло $7,1 \text{ ккал} \approx 30\,000 \text{ Дж}$.

Проведя эту часть эксперимента, нагретую воду сливают и стакан наполняют вновь, но на этот раз вливают всего 0,5 кг воды, помещая в воду кусок железа или гири с массой 0,5 кг. Таким образом, общая масса нагреваемых тел по-прежнему равна 1,0 кг. Кусок железа должен быть полностью погружен в воду. Проводя новое нагревание в течение трех минут, устанавливают, что на этот раз прирост температуры за одну минуту стал равен $12,3^{\circ}\text{C}$. Следовательно, кусок железа в 0,5 кг потребовал на нагревание значительно меньше теплоты, чем требовалось для 0,5 кг воды. В этом случае теплота, получае-

мая от нагревателя за одну минуту, равная 30 000 дж, шла на нагревание 0,5 кг воды и нагревание 0,5 кг железа. Следует рассчитать, как распределялась эта теплота.

Так как прирост температуры был равен 12,3 град/мин⁻¹, то на нагревание 0,5 кг воды пошло:

$4200 \text{ дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot 12,3 \text{ град} \approx 26000 \cdot \text{дж}$, или $1 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot 12,3 \text{ град} \approx 6,2 \text{ ккал}$, следовательно, на нагревание железа пошло $30000 \text{ дж} - 26000 \text{ дж} = 4000 \text{ дж}$, или $7,1 \text{ ккал} - 6,2 \text{ ккал} = 0,9 \text{ ккал}$. Зная, что масса взятого куска железа 0,5 кг, а прирост температуры 12,3°, нетрудно подсчитать, какое количество теплоты необходимо на нагревание каждого килограмма железа на 1°, то есть рассчитать удельную теплоемкость железа.

$$c = \frac{4000}{0,5 \text{ кг} \cdot 12,3 \text{ град}} \approx 640 \text{ дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1},$$

или

$$c = \frac{0,9 \text{ ккал}}{0,5 \text{ кг} \cdot 12,3 \text{ град}} \approx 0,14 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}.$$

Полученное значение удельной теплоемкости почти в полтора раза больше действительной ($c_{\text{ж}} = 460 \text{ дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, или $0,11 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$), так как не были приняты во внимание потери тепла на нагревание сосудов.

15. Определение удельной теплоемкости твердых тел (мелких гвоздей, стеклянных бус, свинцовой дроби)

Калориметр; эрленмайеровская коническая колба (500 мл); пробирка (16 мл); мелкие железные гвозди (драночные, 0,2 кг); стеклянные бусы (0,2 кг); свинцовая дробь (0,2 кг); термометр (0°С — +100°С, с ценой деления в 1°); рычажные весы с разновесами; крышка из прессишпана к калориметру или химическому стакану; пробиркодержатель; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка или спиртовка; вата.

Подготовка эксперимента

Во внутренний стакан калориметра вливают определенное количество воды и измеряют ее температуру. В большую пробирку насыпают определенную массу железных гвоздей и ставят на водяную баню. На бунзеновской горелке или спиртовке доводят воду в водяной бане до кипения. Следует отверстие пробирки прикрыть ватной пробкой, а на пробирку, выше горлышка колбы, служащей водяной баней, подложив вату, надеть пробиркодержатель, чтобы предотвратить стекание капель конденсирующейся на поверхности пробирки воды (рис. 25).

Эксперимент

После того как гвозди приобретут температуру кипения воды, их очень быстро пересыпают из пробирки в воду, налитую во внутренний стакан калориметра. Нужно внимательно сле-

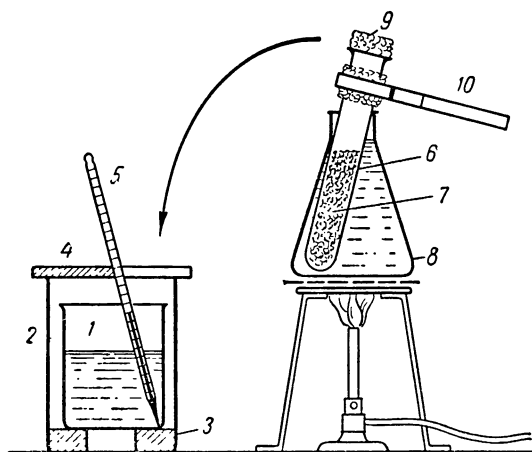


Рис. 25. Определение удельной теплоемкости железа:

1—4 — калориметр с крышкой (см. рис. 24); 5 — термометр; 6 — пробирка; 7 — мелкие гвозди; 8 — колба с кипящей водой; 9 — ватная пробка; 10 — держатель.

дить, чтобы при этом в калориметр не попали капли горячей воды. Затем воду в калориметре хорошо перемешивают и измеряют ее температуру.

Порядок изменений

Определение массы воды, вливаемой во внутренний стакан калориметра: $m_{\text{в}} = 0,5 \text{ кг}$.

Определение массы железных гвоздей: $m_{\text{ж}} = 0,2 \text{ кг}$.

Определение температуры воды в калориметре: $t_{\text{в}}^{\circ} = 15^{\circ}\text{C}$.

Определение температуры нагретых гвоздей по температуре кипящей воды: $t_{\text{ж}}^{\circ} = 100^{\circ}\text{C}$.

Определение окончательной температуры воды: $\Theta = 18,3^{\circ}\text{C}$.

Расчет

Составляем уравнение теплового баланса:

$$Q_{\text{отдаваемое}} = Q_{\text{получаемое}}$$
$$c_{\text{ж}} m_{\text{ж}} (t_{\text{ж}}^{\circ} - \Theta) = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (\Theta - t_{\text{в}}^{\circ}).$$

Зная, что удельная теплоемкость воды $4200 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} - \left(1 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \right)$, рассчитываем удельную теплоемкость железа по формуле:

$$c_{\text{ж}} = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}} (\theta - t_{\text{в}}^{\circ})}{m_{\text{ж}} (t_{\text{ж}}^{\circ} - \theta)}.$$

Численное значение $c_{\text{ж}} = \frac{4200 \cdot 0,5 (18,3 - 15,0)}{0,2 (100 - 18,3)} \approx 440 \text{ дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}.$

Полученное численное значение удельной теплоемкости железа несколько ниже табличного, установленного в науке:

$$460 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}, \text{ или } 0,11 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}},$$

так как не была учтена потеря тепла на нагревание сосуда.

Подобным же образом может быть определена удельная теплоемкость других твердых тел и ртуты.

16. Определение удельной теплоемкости жидкостей (четырехлористого углерода и спирта)

Большой сосуд Дьюара; два химических стакана (по 550 мл), электронагреватель, погружаемый в воду,—электроспираль; термометр ($0^{\circ}\text{C} - +100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); рычажные весы с разновесами; четыреххлористый углерод (0,3 кг); спирт-денатурат (0,3 кг).

В дьюаровский сосуд вливается определенное количество четыреххлористого углерода, как жидкости с плотностью, большей, чем плотность воды $\rho = 1,59 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} = 1,59 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Масса взятого четыреххлористого углерода определяется предварительно на рычажных весах. После погружения в четыреххлористый углерод электронагревателя (не включать в сеть!) и установления температуры ее измеряют при помощи термометра. Затем на электронагреватель подают напряжения в течение 30 сек и тотчас же вновь измеряют температуру. После этого четыреххлористый углерод сливают, а сосуд Дьюара тщательно промывают и наполняют вновь равным по массе количеством воды (рис. 26). Снова включают нагреватель ровно на 30 сек и определяют повышение температуры воды. По количеству теплоты, полученной водой, определяют количество теплоты, отдаваемой нагревателем за 30 сек. Данные эксперимента позволяют найти удельную теплоемкость четыреххлористого углерода или другой жидкости с плотностью, большей, чем плотность воды.

Порядок измерений

На рычажных весах определяется масса четыреххлористого углерода и равная ей масса воды $m_{\text{ж}} = m_{\text{в}}$.

Измеряется температура четыреххлористого углерода: начальная и конечная.

Определяется прирост температуры четыреххлористого углерода $\Delta t_{\text{ж}}^{\circ}$.

Измеряется начальная и конечная температура воды.

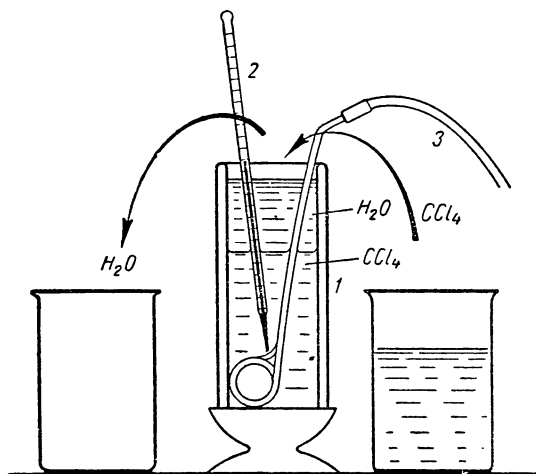


Рис. 26. Определение удельной теплоемкости жидкости:

1 — сосуд Дьюара; 2 — термометр; 3 — электроспираль.

Определяется прирост температуры воды $\Delta t_{\text{в}}^{\circ}$.

Расчет удельной теплоемкости.

Составляют уравнение, аналогичное уравнению теплового баланса при теплообмене:

$$c_{\text{ж}} m_{\text{ж}} \Delta t_{\text{ж}}^{\circ} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}^{\circ}.$$

Зная удельную теплоемкость воды, рассчитывают удельную теплоемкость четыреххлористого углерода по формуле:

$$c_{\text{ж}} = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}^{\circ}}{m_{\text{ж}} \Delta t_{\text{ж}}^{\circ}},$$

но так как

$$m_{\text{ж}} = m_{\text{в}},$$

то

$$c_{\text{ж}} = \frac{c_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}^{\circ}}{\Delta t_{\text{ж}}^{\circ}}.$$

Таким же методом может быть определена удельная теплоемкость и других жидкостей, например спирта-денатурата. Так как плотность спирта меньше плотности воды, то прежде всего определяется масса спирта, соответствующая вместимости сосуда Дьюара, затем берется соответствующее, равное по массе количество воды.

В одном из экспериментов удельная теплоемкость спирта была определена в $2718 \frac{\text{дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$, или $0,65 \frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$. Это объясняется тем, что денатурированный спирт содержит до 7% воды и сивушных масел.

Можно полученные результаты несколько улучшить. Для этого следует учесть теплоемкость дьюаровского сосуда q_d . Метод определения теплоемкости сосуда описан ниже в Э-18. В этом случае уравнение теплового баланса примет новый вид:

$$Q_{\text{ж}} + Q_d = Q_{\text{в}} + Q_d,$$

$$(c_{\text{ж}} m_{\text{ж}} + q_d) \Delta t_{\text{ж}}^{\circ} = (c_{\text{в}} m_{\text{в}} + q_d) \Delta t_{\text{в}}^{\circ},$$

или

$$c_{\text{ж}} m_{\text{ж}} \Delta t_{\text{ж}}^{\circ} + q_d \Delta t_{\text{ж}}^{\circ} = (c_{\text{в}} m_{\text{в}} + q_d) \Delta t_{\text{в}}^{\circ},$$

тогда

$$c_{\text{ж}} m_{\text{ж}} \Delta t_{\text{ж}}^{\circ} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}^{\circ} + q_d (\Delta t_{\text{в}}^{\circ} - \Delta t_{\text{ж}}^{\circ}),$$

в этом случае

$$c_{\text{ж}} = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}^{\circ}}{m_{\text{ж}} \Delta t_{\text{ж}}^{\circ}} + \frac{q_d}{m_{\text{ж}}} \cdot \frac{\Delta t_{\text{в}}^{\circ} - \Delta t_{\text{ж}}^{\circ}}{\Delta t_{\text{ж}}^{\circ}},$$

но так как

$$m_{\text{ж}} = m_{\text{в}}, \text{ а } \Delta t_{\text{ж}}^{\circ} < \Delta t_{\text{в}}^{\circ},$$

то

$$c_{\text{ж}} = \frac{c_{\text{в}} \Delta t_{\text{в}}^{\circ}}{\Delta t_{\text{ж}}^{\circ}} - \frac{q_d}{m_{\text{ж}}} \cdot \frac{\Delta t_{\text{ж}}^{\circ} - \Delta t_{\text{в}}^{\circ}}{\Delta t_{\text{ж}}^{\circ}}.$$

Примечания

1. Температура нагревания жидкостей не должна приближаться к точке их кипения. Так, для четыреххлористого углерода нагревание следует вести до температуры 50—60°C, примерно до такой же температуры можно нагревать спирт, так как температуры их кипения соответственно около 77°C и 78°C.

2. Во всех экспериментах спираль электронагревателя должна быть полностью погружена в жидкость.

17. Определение расчетом теплоемкости внутреннего сосуда калориметра из металла или стекла

Металлический калориметр; самодельный калориметр из двух химических стаканов; рычажные весы с разновесами.

Внутренний сосуд калориметра извлекают и взвешивают на технических весах (с точностью до десятых долей грамма).

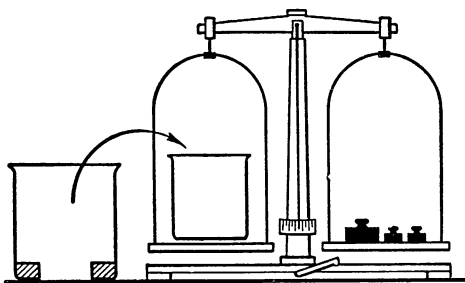


Рис. 27. Взвешивание внутреннего стакана калориметра для нахождения его теплоемкости.

Полученное значение массы внутреннего сосуда калориметра умножают на удельную теплоемкость вещества, из которого изготовлен сосуд; произведение этих величин дает значение теплоемкости сосуда (рис. 27).

Пример расчета для латунного калориметра

Масса внутреннего сосуда калориметра $m = 0,0758$ кг. Удельная теплоемкость латуни $c = 376 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1} = 0,09 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$. Отсюда теплоемкость сосуда равна $q = ct = 376 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1} \cdot 0,0758 \text{ кг} \approx 28,5 \text{ Дж} \cdot \text{град}^{-1}$ или $0,0068 \text{ ккал} \cdot \text{град}^{-1}$.

Теплоемкости сосудов из одинакового материала пропорциональны их массам.

Примечание

Целесообразно значение теплоемкости сосуда определить как среднее значение из ряда измерений и расчетов и написать на самом калориметре эмалевой краской. В этом случае эксперимент может быть рекомендован как демонстрационный.

18. Определение теплоемкости сосуда Дьюара

Сосуд Дьюара (750 мл); 2 химических стакана (1000 мл и 550 мл); тазик; термометр ($0^\circ \text{C} — +100^\circ \text{C}$, с ценой деления в 1°); погружаемый в воду электрический нагреватель — электроспираль; технические весы с разновесами (от 1 мг до 200 г и от 0,1 кг до 2 кг).

1. Сосуд Дьюара на три четверти наполняют водой. Налитую в сосуд воду при помощи электрической спирали нагревают до температуры около 60°C . Измеряют конечную температуру нагреваемой воды, которая не должна быть выше 60°C во избежание порчи сосуда. После этого горячая вода выливается и тотчас же сосуд заполняется из химического стакана определенным количеством холодной воды (не менее $0,4\text{ кг}$) известной температуры. Воду хорошо перемешивают и измеряют ее температуру (рис. 28). В заключение для проверки эксперимента сосуд Дьюара взвешивают сначала со вторично налитой водой, затем— без нее, чтобы проверить массу воды, принимающей теплоту сосуда.

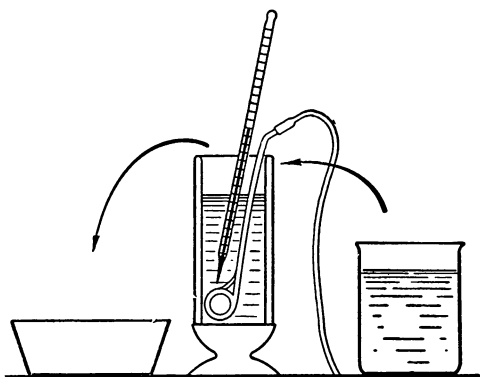


Рис. 28. Определение теплоемкости сосуда Дьюара по отдаче им теплоты.

Порядок измерений

Измеряется температура нагретой в дьюаровском сосуде воды, и тем самым определяется температура сосуда t°_0 .

Измеряется масса холодной воды m_b .

Измеряется температура холодной воды перед вливанием ее в сосуд Дьюара t°_1 .

Измеряется температура воды, вылитой в сосуд Дьюара, после ее достаточного перемешивания Θ .

Теплоемкость сосуда Дьюара определяется по количеству теплоты, отданной сосудом и полученной от него налитой холодной водой.

В основу расчета кладется следующее уравнение теплового баланса:

$$q_d (t^{\circ}_0 - \Theta) = c_b m_b (\Theta - t^{\circ}_1),$$

откуда

$$q_d = \frac{c_b m_b (\Theta - t^{\circ}_1)}{t^{\circ}_0 - \Theta},$$

где c_b — удельная теплоемкость воды.

2. В сосуд Дьюара наливают определенное количество холодной воды ($0,3\text{ кг}$) и измеряют ее температуру. Такое же ко-

личество воды при помощи погружаемого в воду электрического нагревателя до определенной температуры (около 60°C) в химическом стакане. Горячую воду вливают в холодную, налитую в сосуд Дьюара, и тщательно перемешивают. Затем измеряют температуру смеси (рис. 29). Температура смеси будет несколько ниже, чем средняя температура горячей и холодной воды, так как часть тепла пошла на нагревание самого сосуда. На основании полученных измерений может быть найдена теплоемкость сосуда.

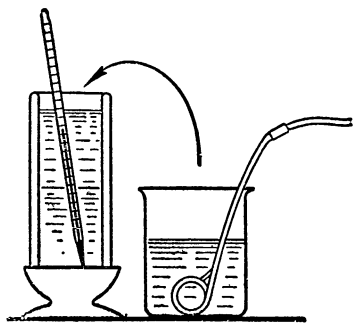


Рис. 29. Определение теплоемкости сосуда Дьюара по поглощению им теплоты.

Порядок измерений

Измерение равных масс холодной и горячей воды m .

Измерение температуры горячей воды t_0° .

Измерение температуры холодной воды в сосуде Дьюара t_1° .

Измерение конечной температуры смеси $\Theta < \frac{t_0^{\circ} + t_1^{\circ}}{2}$

Составляем уравнение теплового баланса:

$$c_B m_B (t_0^{\circ} - \Theta) = c_B m_B (\Theta - t_1^{\circ}) + q_d (\Theta - t_1^{\circ})$$

или

$$q_d (\Theta - t_1^{\circ}) = c_B m_B (t_0^{\circ} - \Theta) - c_B m_B (\Theta - t_1^{\circ}),$$

но так как m_B постоянно,
то

$$q_d = \frac{c_B m_B [(t_0^{\circ} - \Theta) - (\Theta - t_1^{\circ})]}{\Theta - t_1^{\circ}},$$

или, упрощая,

$$q_d = c_B m_B \cdot \frac{t_0^{\circ} + t_1^{\circ} - 2\Theta}{\Theta - t_1^{\circ}}.$$

Для сосуда Дьюара вместимостью 0,75 л получается значение теплоемкости около $75 \text{ дж} \cdot \text{град}^{-1}$.

19. Смешивание воды, имеющей различные начальные температуры

Два химических стакана (800 мл и 550 мл); термоизолирующая подставка; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; технические весы с разновесами; термометр ($0^{\circ}\text{C} — +100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°).

1. В два химических стакана наливают различное, но измеренное количество воды. Большее количество воды нагревают на бунзеновской горелке. После того как будут измерены температуры холодной и горячей воды, её сливают вместе, выливая горячую воду в холодную. После перемешивания измеряют температуру смеси. Температура смеси обычно несколько отклоняется от среднего значения в сторону температуры воды, взятой в большем количестве (рис. 30, а).

Эксперимент повторяют, но на этот раз нагревают меньшее количество воды (рис. 30, б).

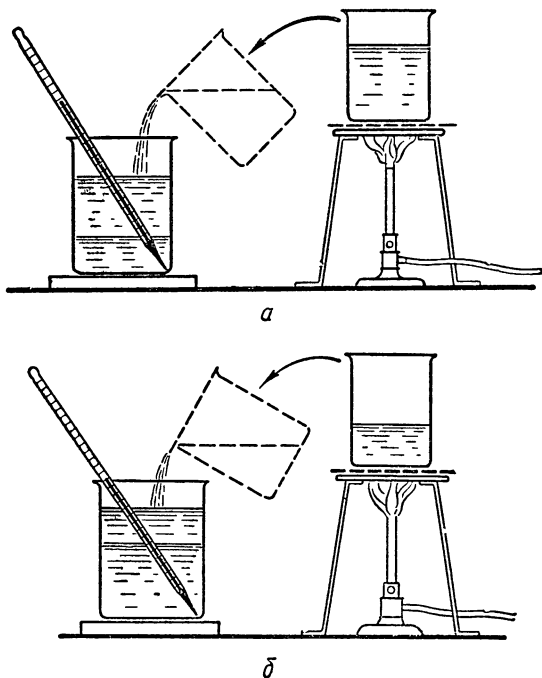


Рис. 30. Определение общей температуры смеси двух жидкостей:

а — приливание большего количества нагретой жидкости к малому количеству охлажденной; б — приливание малого количества нагретой жидкости к большому количеству охлажденной.

Таким образом, эксперимент проводится в двух вариантах — с большим и меньшим количеством горячей воды.

Расчет температуры смеси по уравнению Рихмана

Определение температуры смеси может быть проведено по уравнению Рихмана и явится проверкой данных, полученных непосредственными измерениями:

$$\Theta = \frac{c_1 m_x t_1^\circ + c_2 m_r t_0^\circ}{c_1 m_x + c_2 m_r},$$

но так как

$$c_1 = c_2,$$

то

$$\Theta = \frac{m_x t_1^\circ + m_r t_0^\circ}{m_x + m_r}.$$

В этом уравнении Θ — температура смеси, m_x — масса холодной и m_r — масса горячей воды, c_1 и c_2 — соответствующие удельные теплоемкости, в нашем случае равные между собой, t_0° и t_1° — температуры холодной и горячей воды.

Данные, полученные в эксперименте, обычно ниже полученных из расчета, так как не принимаются во внимание потери теплоты на нагревание сосуда, в котором происходит смешивание воды.

Целесообразно поэтому ввести соответствующие поправки на теплоемкость сосуда, определяемую, как указано в Э-17, и тогда уравнение примет вид:

$$\Theta = \frac{c_1 m_r t_1^\circ + c_2 m_x t_0^\circ + q_d t_0^\circ}{c_1 m_r + c_2 m_x + q_d}.$$

2. Эксперимент может быть проведен и в другом варианте, когда берутся равные количества воды для смешивания.

В два химические стакана наливают равное количество воды. Один из стаканов ставят на треножник, и воду подогревают на бунзеновской горелке. После измерения температуры холодной и горячей воды горячую воду вливают в холодную и измеряют температуру смеси, предварительно тщательно перемешав её. Измеренная температура лежит несколько ниже среднего значения, что объясняется потерей теплоты на нагревание сосуда, в котором производят смешение.

Результат измерений целесообразно сопоставить с определением температуры смеси по уравнению Рихмана и определить величину ошибки.

В этом случае $m_{\Gamma} = m_x$, $c_1 = c_2$ и уравнение теплового баланса.

$$\Theta = \frac{c_B m_x t_1^{\circ} + c_B m_{\Gamma} t_0^{\circ}}{c_B m_x + c_B m_{\Gamma}}$$

упрощается до следующего вида:

$$\Theta = \frac{t_1^{\circ} + t_0^{\circ}}{2}.$$

20. Определение удельной теплоемкости жидкостей методом смешивания

Приборы те же, что и для Э-18; кроме того, глицерин (200 г); плоскодонная колба (500 мл); коническая колба Эрленмайера (500 мл).

Строго определенное количество холодной воды наливают в химический стакан, стоящий на термоизолирующей подставке, и измеряют температуру воды. В эрленмайеровскую колбу отвешивают глицерин, масса которого должна быть равна массе взятой холодной воды. Глицерин, налитый в колбу, нагревают в водяной ванне, доводя в ней воду до кипения (рис. 31). Тем самым глицерин примет температуру кипящей воды (в этом эксперименте, не принимая во внимание влияние атмосферного давления, температуру кипения воды можно взять равной 100°C). Нагретый глицерин выливают в холодную воду, налитую в стакан, следя за тем, чтобы туда не попали с поверхности колбы капли горячей воды.

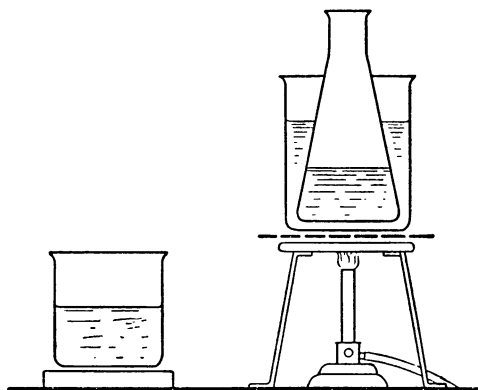


Рис. 31. Смешение равных масс двух различных жидкостей.

Обычно температура после перемешивания воды с глицерином повышается незначительно, так как глицерин по сравнению с водой при равных их количествах принимает теплоты меньше, чем вода, и температура смеси не соответствует средней температуре глицерина и воды. Сопоставление соответствующих данных эксперимента показывает, что

$$c_{\text{гл}} < c_B$$

Порядок измерений

Масса холодной воды $m_{\text{в}}$.

Температура холодной воды t_1° .

Масса глицерина $m_{\text{гл}}$.

Температура глицерина t_0° .

Температура смеси Θ .

Без учета теплоты, пошедшей на нагревание сосуда, следует составить уравнение теплового баланса при теплообмене:

$$Q_{\text{отдаваемая глицерином}} = Q_{\text{получаемая водой}}$$

откуда

$$c_{\text{гл}} m_{\text{гл}} (t_0^{\circ} - \Theta) = c_{\text{в}} m_{\text{в}} (\Theta - t_1^{\circ}),$$

$$c_{\text{гл}} = \frac{c_{\text{в}} m_{\text{в}} (\Theta - t_1^{\circ})}{m_{\text{гл}} (t_0^{\circ} - \Theta)},$$

но так как

$$m_{\text{гл}} = m_{\text{в}} \text{ и } t_0^{\circ} = 100^{\circ} \text{C},$$

следует, что

$$c_{\text{гл}} = \frac{c_{\text{в}} (\Theta - t_1^{\circ})}{100^{\circ} - \Theta}.$$

Справка: удельная теплоемкость глицерина $0,58 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$ или $2000 \text{ дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$.

ГЛАВА III

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕЛ

§ 5. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА

1. На первой ступени обучения исследование вопроса о тепловом расширении тел целесообразно начать с расширения жидкостей. То, что жидкости расширяются, учащимся известно из обращения с термометрами; известно им об этом и из эксперимента 4. Следует остановиться и на тех жидкостях, которыми наполняют капилляр термометра (см. примечание к Э-6), указав, почему неудобно пользоваться водой как наполнителем термометрических трубок (малый коэффициент расширения и аномалия в пределах низких температур от 0°C до $+4^{\circ}\text{C}$; см. Э-39 и Э-40).

Дальнейшим шагом в изучении вопроса о тепловом расширении тел должен быть вопрос о расширении газов (Э-42) и лишь после этого — о расширении твердых тел (Э-21 — Э-25).

На первой ступени обучения нельзя исключить и демонстрационные эксперименты, показывающие действия сил, возникающих при тепловом расширении или сжатии тел (Э-30, Э-31). Уже на этой ступени обучения следует показать аномалию теплового расширения воды (Э-40), одновременно напоминая, что озера и пруды промерзают сверху и, следовательно, лед легче воды, а, значит, его плотность меньше, что возможно лишь в том случае, если вода при замерзании расширяется.

Первым количественным экспериментом на этой ступени обучения может быть эксперимент, в котором учащиеся составляют график зависимости длины столбика жидкости в капилляре термометра, лишенного шкалы, от температуры воды, в которую он погружен. Температура подогреваемой воды определяется по нормальному лабораторному термометру.

На следующей ступени обучения, где на первом плане стоят количественные эксперименты, порядок изучения материала темы обратный. В старших классах, опираясь на материал, изученный на младшей ступени обучения, вопрос о тепловом расширении лучше начинать с расширения твердых тел.

2. Тепловое расширение твердых тел обычно вызывает значительный интерес учащихся, и это понятно, так как подобное

расширение обычно сопровождается механическими явлениями. Вот почему в § 6 приводится достаточно большое число экспериментов, из которых учитель может выбрать те, которые он будет считать наиболее соответствующими профилю класса. Эксперимент 23 заслуживает внимания, потому что он привлекает без особого труда учащихся к самостоятельным наблюдениям, особенно, если вначале он проводится без использования указателя; последний подвешивается только тогда, когда учащиеся сами придут к мысли о необходимости указателя и подскажут возможные варианты его устройства.

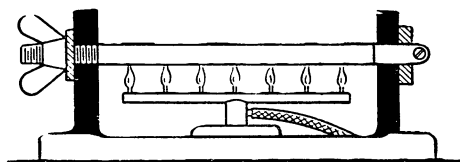
Эксперименты с 24 по 29 являются демонстрационными, показывающими тепловое расширение твердых тел под контролем указателей. Значение лирообразных компенсаторов на паропроводах удобно показать, проводя Э-25. Этот эксперимент может быть приближен к производственным условиям в том случае, если длинную проволоку заменить стеклянной трубкой длиной не менее 1 м, изогнув на ней петлю, подобную петле, выгибаемой на проволоке (рис. 38). Нагревание такой стеклянной трубки следует провести, пропуская через нее пар.

Тепловое расширение массивных тел обычно демонстрируется на приборе, получившем название «шар Гравизанда». Нам кажется целесообразным предложить в Э-26 самодельную модель этого прибора, при помощи которой демонстрируется не только расширение шара при постоянном диаметре кольца, но и тепловое расширение кольца при постоянном диаметре шара. Последнее позволяет объяснить процесс натяжки бандажей на колеса, насадку крепежных колец на рукоятку инструмента.

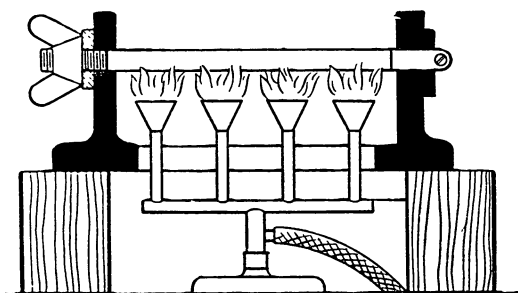
Действие сил, возникающих при тепловом расширении, обычно демонстрируется на известном приборе Тиндаля. Однако мы предлагаем внести в прибор два усовершенствования: 1) используя прежнюю модель, применять многодюзовую горелку (рис. 32,а) или 2) перейти на новую модель (рис. 32,б), в которой в основании прибора имеется щелевая прорезь для прогревания стержня несколькими горелками или одной многодюзовой. Если на приборе Тиндаля демонстрируется разрыв металлического стержня при его остывании, то в эксперименте 30 описывается установка, на которой демонстрируют силы, возникающие при расширении стержня. Такой стержень раскалывает толстую стеклянную пластинку.

3. Тепловое выгибание биметаллических пластинок может быть продемонстрировано проведением эксперимента 31. Различные применения биметаллических пластинок в автосигнализации и тепловых реле демонстрируются в экспериментах 31, 32 и 33. Терморегулятор (Э-32) регулирует нагрев электрической плитки и лампочки накаливания, при этом биметаллическая пластинка и нагреватель включаются последовательно.

Значительно изящнее эксперимент 33, демонстрирующий реле. В этом эксперименте биметаллическая пластинка включена в сеть слабого тока, но при ее тепловом нагревании включается или выключается сеть рабочего тока городской сети. И даже в случае, если подобный эксперимент демонстрируется в классах, где еще не пройден вводный курс электричества, это не может вызвать особых возражений, так как весь основной упор в рассмотрении опыта должен быть сделан на поведении биме-



a



б

Рис. 32. Прибор Тиндаля:

a — старая модель; *б* — новая модель.

таллической пластинки и на зрительном восприятии этого действия. В своем месте курса, в разделе «Электричество», принцип действия электрического реле будет подробно рассмотрен со стороны электрических процессов (см. часть 4 — «Электричество», стр. 88—89, Э-22, модель Б).

4. В экспериментах с 35 по 48 дается определение коэффициента линейного расширения тел. Все эти эксперименты количественные и очень удобны для проведения в порядке лабораторных работ. В этих экспериментах используется набор трубок из различного материала (разные металлы, стекло, пластмассы), через которые пропускают пар. Чрезвычайно простой и в то же время достаточно точный метод определения коэффициента линейного расширения описан в Э-37, который проводят с применением стрелочного микрометра. Применение

такого микрометра может вызвать некоторое затруднение, так как наличие его не предусматривается обязательным минимумом оборудования кабинета физики. Такой прибор следует все же приобрести, так как все затраты компенсируются большой точностью работы, и пользование стрелочным микрометром повышает политехническое значение эксперимента и расширяет практические навыки учащихся. Очень близок к рассмотренному и эксперимент 36. В нем удлинение трубки определяется при помощи обычного микрометра, но кажущаяся наглядность результатов не повышает точности измерения. Еще более примитивен Э-35, в котором удлинение трубок определяется по указателю, укрепленному на валике. При проведении эксперимента следует дать дополнительные разъяснения, пользуясь рис. 50, так как непосредственное удлинение трубок не воспринимается, и учащиеся видят лишь вращение валика с указателем. Все это создает некоторые трудности восприятия эксперимента. С другой стороны, такой эксперимент прост по его проведению и в то же время будит мысль учеников. Наконец, интересен и эксперимент 38, в котором удлинение трубки определяется по величине отклонения своеобразного маятника из лезвия безопасной бритвы со стрелкой-указателем. В этом эксперименте сам расчет не может вызвать затруднений, так как приводит к решению простейшей задачи на подобие треугольников.

5. Экспериментам, объединенным § 7, посвящены вопросы о тепловом расширении жидкостей и газов. Эксперимент Э-39 качественный, показывающий сам факт теплового расширения жидкостей. В Э-43 демонстрируется модель известной игрушки «Плავает в холодной и тонет в горячей воде». Этот эксперимент основан на изменении плотности воды в результате ее нагревания. Аномалия в расширении воды, как уже было указано, может быть продемонстрирована проведением экспериментов 46, 41 и 44, которые позволяют наглядно пояснить трудно усваиваемый учащимися материал. Однако надо иметь в виду, что при проведении подобных экспериментов возможны ошибки, так как сам сосуд, в котором нагревается вода, расширяется; в результате проведения этих экспериментов может оказаться, что наибольшая плотность воды имеет место не при $+4^{\circ}\text{C}$, а при $+5^{\circ}\text{C}$ и даже при $+6^{\circ}\text{C}$. Чтобы избежать этой ошибки, необходимо компенсировать расширение сосуда. Этого можно достигнуть двумя путями: или помещением в воду определенного количества ртути, или помещением пузырька воздуха, как это указано в Э-45. Но и в этом случае достижение большой точности представляет нелегкую задачу. Нам думается, что достаточно показать учащимся причины неизбежной ошибки в результате эксперимента и после проведения опыта сообщить им истинное значение температуры наибольшей плотности. Особое внимание должно быть обращено на Э-41. В этом эксперименте показы-

вается стратификация воды, постепенно устанавливающаяся при охлаждении ее за счет плавающего на поверхности льда. Большой интерес у учащихся вызывает Э-44, в котором применяется дифференциальный термоскоп.

В экспериментах 42 и 56 показывается тепловое расширение газов, и в ряде экспериментов по этому разделу применяется двойной термоскоп. Нам думается, что вопрос о включении этого прибора в арсенал физической лабораторной техники совершенно своевременен.

6. Заключительные эксперименты § 7 по тепловому расширению жидкостей и газов количественные (Э-47—Э-51) и проводятся в порядке лабораторных работ. По своему характеру они относятся к экспериментам, предназначенным для старших классов школ. Эксперименты 48, 49 и 50 можно проводить, разделив класс на несколько групп, каждая из которых работает с определенной жидкостью или газом. В этом случае класс в целом может исследовать несколько жидкостей и газов. Учащиеся, работая на одинаковых приборах, но с различными веществами, могут сопоставить данные, полученные различными группами. Такой метод позволяет оценить тщательность работы и тем самым критически оценить свои действия. Последний из описанных в этой главе экспериментов, Э-51, знакомит учащихся с определением коэффициента объемного расширения ртути при помощи пикнометра и весов. Сам эксперимент изящен и дает обычно достаточно высокую точность определения искомого коэффициента.

§ 6. ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

21. Удлинение швейной иглы при нагревании

Предварительный эксперимент

Три швейные иглы (длина каждой 40 мм); дощечка из мягкого дерева (5 мм×40 мм×100 мм); свеча; спиртовка или бунзеновская горелка; проектор для получения теневой проекции; штатив.

Подготовка эксперимента

По чертежу, приведенному на рисунке 33, а, изготавливают из дощечки подставку для проведения эксперимента. В боковой торец выреза в дощечке втыкают острие стальной иглы так, чтобы ее ушко плотно лежало своей плоскостью на противоположном выступе подставки. Через ушко иглы в подставку втыкают вторую иглу.

Эксперимент

Иглу, воткнутую в подставку и расположенную горизонтально, прогревают на пламени свечи. В результате теплового удлинения игла своим ушком давит на вторую, вертикально воткнутую иглу, которая при этом отклоняется от начального положения.

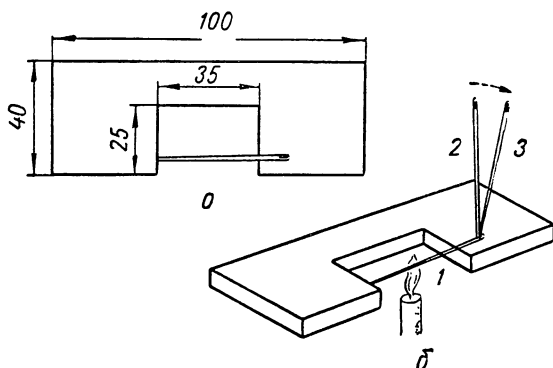


Рис. 33. Самодельный прибор для демонстрации теплового удлинения иглы.

а — разметка доски (размеры в миллиметрах); *б* — эксперимент; *1* — нагреваемая игла; *2* — игла-указатель; *3* — положение иглы-указателя после нагревания.

Для того чтобы отклонение иглы было заметно, можно до нагревания рядом со второй иглой, но уже вне ушка воткнуть третью иглу (рис. 33, б).

Примечания

1. Если эксперимент проводится как демонстрационный, следует дощечку закрепить в лапки штатива и весь опыт показывать в теневой проекции (см. часть 6 — «Оптика», стр. 45, 46).

2. Вместо свечи можно использовать бунзеновскую горелку или спиртовку.

22. Удлинение горизонтально расположенного металлического стержня при нагревании

Предварительный эксперимент

Толстая твердая железная проволока (длина 400 мм); два деревянных бруска (50 мм × 150 мм × 150 мм); проволочная скобка; иголка или спица; соломинка или полоска целлулоида (3 мм × 150 мм); бунзеновская горелка (спиртовка, свеча).

Подготовка эксперимента

Один из концов твердой толстой проволоки при помощи проволочной скобки укрепляют горизонтально на деревянном бруске, поставленном своим торцом на стол. Свободный конец проволоки должен быть несколько наклонен книзу, и его опирают на второй брусок, верхний торец которого полирован. Под проволоку на полированную поверхность бруска подкладывают иголку или спицу, по которой проволока может легко перемещаться, вызывая вращение иглы. На иглу надевают соломинку или узкую полоску целлулоида, служащую указателем.

Эксперимент

Поднося пламя свечи к проволоке, вызывают ее нагревание и тепловое удлинение. Проволока, удлиняясь, вызывает вращение иголки, а вместе с ней и соломинки-указателя. Изменение положения соломинки позволяет продемонстрировать удлинение проволоки (рис. 34).

Примечание

Описанный эксперимент является дальнейшим развитием Э-21.

23. Удлинение вертикально натянутой медной проволоки при нагревании

Медная проволока ($\varnothing 1$ мм, длина 900 мм); деревянная планка (5 мм \times 10 мм \times 800 мм); короткая планка (10 мм \times 20 мм \times 120 мм); 2 куска спицы (длина каждого 10 мм); полоска картона с нанесенной равномерно шкалой или дощечка, укрепленная вертикально на подставке; груз с крючком (0,5 кг); бунзеновская горелка; спиртовка; штатив.

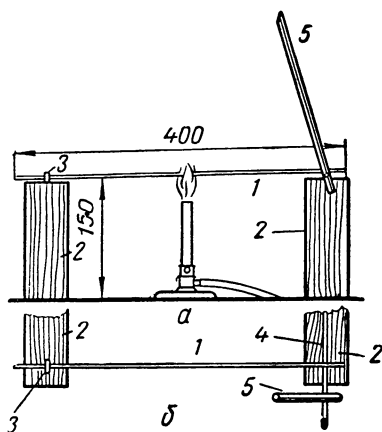


Рис. 34. Удлинение проволоки при нагревании:

a — вид установки сбоку; *б* — вид сверху; 1 — кусок проволоки; 2 — подставки; 3 — скоба, фиксирующая один из концов проволоки; 4 — иголка-подшипник; 5 — соломинка-указатель.

Подготовка эксперимента

На концах медной проволоки скручивают петли; кроме того, на расстоянии около 30 мм от одного из концов делают боковую петельку (рис. 35, *a*). Проволоку подвешивают вертикально к лапке высокого штатива и натягивают при помощи груза.

На штатив, почти у нижнего конца проволоки, закрепляют указатель, который собирают из короткой, неподвижной, и длинной, подвижной, планок, для чего предварительно прожигают вблизи концов обеих планок отверстия. В длинную, подвижную планку на расстоянии около 20 мм от оси вращения втыкают короткий кусок спицы и на выступающий ее конец набрасывают боковую петельку проволоки (рис. 35, б). Перемещением нижней лапки штатива подвижную планку-указатель смещают так,

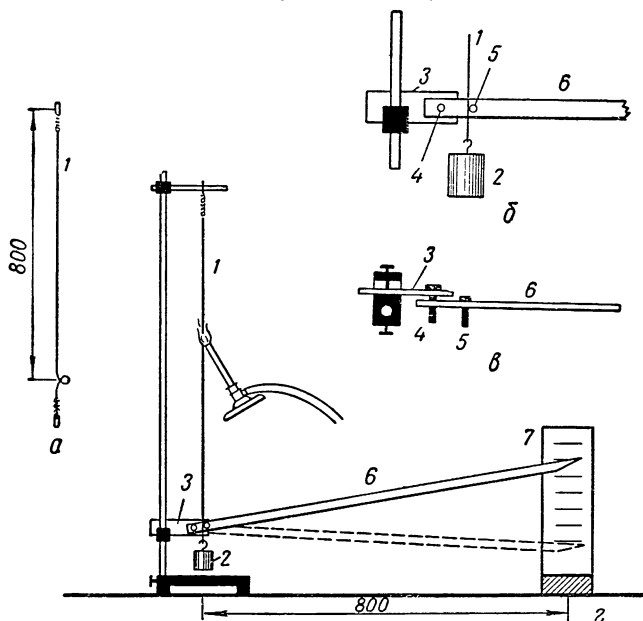


Рис. 35. Установка для демонстрации теплового удлинения подвешенной медной проволоки:

а — подготовка проволоки; *б* — крепление указателя (вид сбоку); *в* — крепление указателя (вид сверху); *г* — общий вид установки; *1* — медная проволока; *2* — груз-подвес; *3* — крепежная планка указателя; *4* — ось указателя; *5* — штырек для набрасывания петли проволоки; *6* — стрелка-указатель; *7* — зеркальная шкала.

чтобы ее свободный конец был направлен несколько вверх. Перед свободным концом указателя устанавливают вертикально закрепленную полоску картона с равномерно нанесенными штрихами (рис. 35, в).

Эксперимент

Натянутую вертикально проволоку прогревают в пламени бунзеновской горелки; при этом по опусканию конца планки-указателя можно судить о характере удлинения проволоки. Как только прекращают прогревание проволоки, конец стрелки-указателя поднимается вверх.

Примечание

Целесообразно начать демонстрацию теплового удлинения проволоки, не применяя указателя. В этом случае у учащихся невольно возникнет вопрос: «удлинилась ли вообще проволока?» Тем ярче и впечатлительнее будет результат эксперимента с применением указателя.

24. Удлинение горизонтально натянутой проволоки при нагревании

Медная, нихромовая или никелиновая проволока ($\varnothing 0,3$ мм, длина 600 мм); блок на стержне; две струбцинки; штатив; два грузика с крючками (по 50 г); узкая деревянная или целлулоидная планка-указатель; клей; полоска картона с равномерной шкалой; бунзеновская горелка; понижающий трансформатор 120/12 или малый агрегат питания; соединительные провода.

Подготовка эксперимента

На концах достаточно длинной проволоки скручивают петли. Один конец проволоки своей петлей закрепляют на стержне, укрепленном в струбцинке, другой конец перебрасывают через блок и утяжеляют двумя грузиками. Предварительно на колесико блока наклеивают узкую целлулоидную или деревянную планку-указатель и колесико поворачивают так, чтобы указатель был направлен на нулевое деление шкалы, закрепленной в лапке штатива. Расположение деталей установки указано на рис. 36.

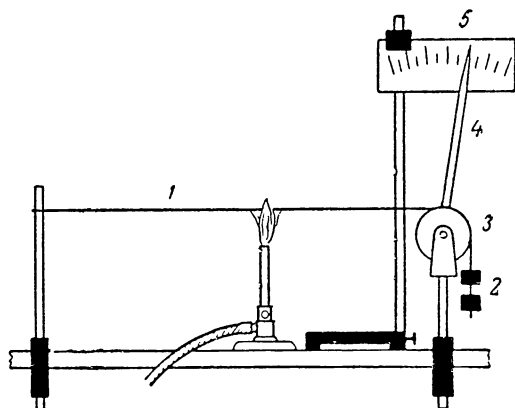


Рис. 36. Установка для демонстрации теплового удлинения горизонтально натянутой проволоки:

1 — проволока; 2 — грузик, натягивающий проволоку;
3 — блок; 4 — указатель; 5 — шкала.

Эксперимент

Натянутую горизонтально проволоку прогревают по всей длине в слабом пламени бунзеновской горелки. По отклонению планки-указателя можно судить о тепловом удлинении проволоки. Как только будет прекращено прогревание, проволока сокоратится и планка-указатель вернется в прежнее положение.

Технический вариант эксперимента

Описанный ниже вариант эксперимента позволяет продемонстрировать необходимость учета теплового удлинения проволок в конкретных технических установках. Учащимся следует указать на возможность разрыва проводов внешних электрических сетей, перетянутых во время летнего периода. Описанный ниже эксперимент надо рекомендовать для обязательной демонстрации.

На столе на расстоянии около 600 мм друг от друга устанавливают штатив с изолирующей подставкой и вертикальную планку на изолирующем основании (рис. 37, *а*). Между ними натягивают тонкую нихромовую или никелиновую проволоку. По проволоке пропускают электрический ток (12 в), под действием которого проволока разогревается и удлиняется. Как только прекратится дальнейшее удлинение проволоки, вертикальную планку отодвигают от штатива настолько, чтобы нагретая проволока оказалась предельно натянутой. Если после этого выключить ток, то остывающая проволока, укорачиваясь, вызовет опрокидывание планки.

Эксперимент может быть изменен так, чтобы натянутая проволока при остывании разорвалась. Для этого, как только

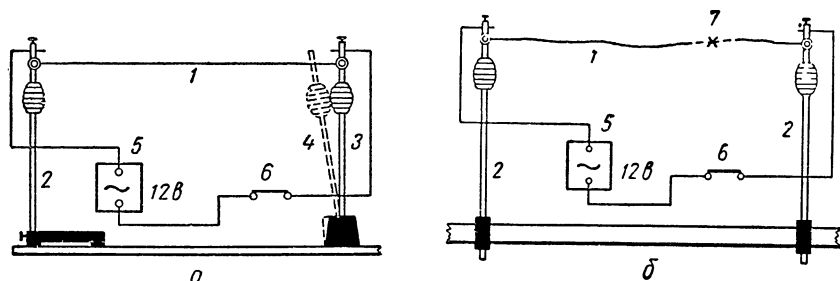


Рис. 37. Установка для демонстрации силы, вызванной сокращением проволоки при охлаждении:

а — наклон свободной опоры при сокращении проволоки; *б* — разрыв охлаждающейся проволоки при закрепленных опорах; 1 — нагреваемая проволока; 2 — закрепленная опора; 3 — свободная опора; 4 — наклонное положение свободной опоры; 5 — источник тока; 6 — выключатель; 7 — одно из возможных мест разрыва проволоки при ее охлаждении.

провода при нагревании удлинится, отставленные друг от друга штатив и планку закрепляют на столе при помощи струбцинок (рис. 37, б). После выключения тока проволока начнет остывать и укорачиваться и в какой-то момент произойдет ее обрыв.

Примечания

1. В технических вариантах эксперимента для нагревания проволоки применен электрический ток, так как в этом случае нагревание происходит равномерно по всей длине проволоки.

2. В качестве источника тока можно применить как батарею аккумуляторов, так и малый агрегат питания (см. часть 4, стр. 21).

25. Эксперимент на модели, демонстрирующий действие лирообразных тепловых компенсаторов на трубопроводах

Две стальные или медные проволоки ($\varnothing 2$ мм, длина каждой 600 мм) или 4 велосипедные спицы; два штатива со струбцинками; прочные нитки; небольшая полоска картона; штангенциркуль; бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

На куске проволоки, ближе к одному из ее концов, выгибают петлю, моделирующую лирообразный компенсатор (рис. 38, а). Другой кусок проволоки отрезают такой длины, чтобы он соответствовал длине первой проволоки уже с изогнутой петлей. Подготовленные проволоки по очереди зажимают в муфтах двух штативов, укрепленных при помощи струбцинок на демонстрационном столе так, чтобы между вертикальными стержнями штатива расстояние оставалось неизменным (рис. 38, б).

Эксперимент

1. Закрепив в муфтах штативов прямую проволоку, ее по всей длине прогревают в пламени бунзеновской горелки. Под действием собственного веса проволока при тепловом удлинении заметно провисает вниз, а при остывании вновь выпрямляется.

2. Прямую проволоку заменяют на проволоку с лирообразным компенсатором, направив последний вниз. При нагревании такой проволоки ее провисания не наблюдается.

Для большей наглядности действия компенсатора участок наибольшего сближения его ножек плотно перевязывается двойным стежком ниток. Между стежками ниток вставляют как указатель тонкую полоску картона. При нагревании проволоки нитки ослабевают и указатель несколько наклоняется вниз; при остывании проволоки указатель поднимается.

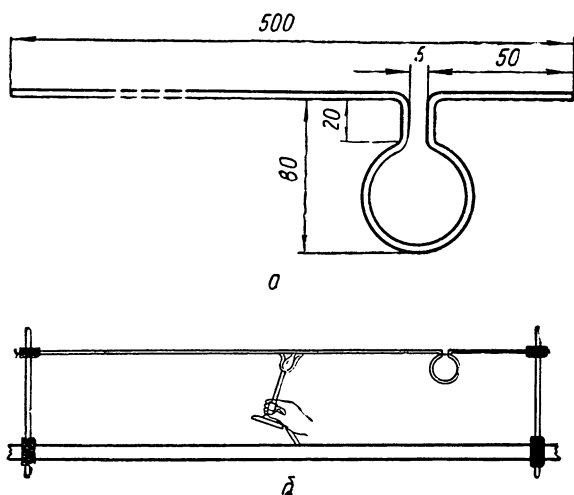


Рис. 38. Проволочная модель лирообразного теплового компенсатора.

Примечания

1. Применяя стальную проволоку, целесообразно место изгиба компенсатора предварительно «отпустить», для чего следует этот участок раскаливать докрасна и дать ему медленно остыть.

2. При наличии толстой медной проволоки с диаметром не менее 2 мм целесообразно использовать ее вместо стальной проволоки.

3. Этот эксперимент может быть предложен и в качестве лабораторной работы, но в этом случае ему следует придать некоторый количественный характер, для чего учащимся дополнительно раздают штангенциркули. Во время работы при помощи штангенциркуля ученики определяют расстояние зазора между ножками компенсатора до и после прогревания всей проволоки. Делая описание эксперимента и рисунок установки, учащиеся должны привести и полученные данные измерений.

26. Демонстрация теплового расширения шара и кольца на самодельном приборе

Латунный шар ($\varnothing 25$ мм при $+15^{\circ}\text{C}$); медная, латунная или стальная пластинка ($2\text{ мм} \times 60\text{ мм} \times 250\text{ мм}$); проволочный крючок на деревянной рукоятке; цепочка из мелких звеньев; бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

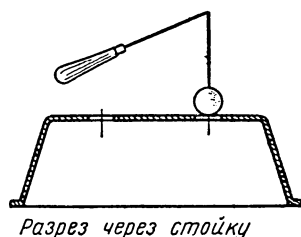
Из металлической пластинки вырезают основание прибора, пользуясь выкройкой, приведенной на рис. 39. Круглое отверстие в прямоугольной части пластинки должно иметь диаметр 25,03 мм с хорошей точностью, а в фигурной части — в кольце пластинки — 24,96 мм. Пластинку изгибают так, чтобы получился своеобразный выпуклый мостик (рис. 39, верх). На проволочный крючок при помощи цепочки подвешивают медный или латунный шар.

Эксперимент

1. В начале эксперимента показывают учащимся, что шар подвешенный на цепочке, легко проходит через отверстие в прямоугольной части планки и не проходит через кольцо. Затем шар достаточно долго прогревают на пламени бунзеновской горелки, при этом происходит тепловое расширение шара, а следовательно, и увеличение его диаметра. Попытка пропустить через то же отверстие в планке нагретый шар не удается (рис. 39, а). Тогда шар оставляют лежать на планке частично погруженным в отверстие. При достаточном остывании шара он сам проваливается через это отверстие.

2. Шар, подвешенный на цепочке, вводят в кольцо фигурной части планки и еще раз убеждаются, что шар застревает в кольце. Если же фигурную часть планки хорошо прогреть на пламени горелки, то диаметр отверстия увеличится и шар легко пройдет через него (рис. 39, б).

Можно видоизменить эксперимент. Для этого, убедившись, что шар не проходит через холодное кольцо, его оставляют лежать в нем. После хорошего прогревания планки, а значит, и



Разрез через стойку



Вид стойки сверху

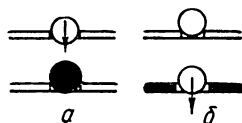


Рис. 39. Вариант прибора, известного под названием шар Гравизанда
а — нагревание шара; б — нагревание кольца.

кольца шар сам провалится вниз. Это объясняется тем, что тонкая пластинка прогревается быстрее, чем сплошной шар, и, следовательно, увеличение диаметра кольца идет быстрее, чем диаметра шара.

27. Эксперимент, демонстрирующий насадку разогретого затяжного кольца или обода

Конусообразный железный штырь (рис. 40); латунное кольцо к нему; металлический стержень с винтовой нарезкой на конце; штатив; бунзеновская горелка; тигельные щипцы.

Конусообразный железный штырь, примерные размеры которого указаны на рис. 40, навинчивают на короткий металлический стержень-рукоятку и при помощи последней укрепляют в лапке штатива.

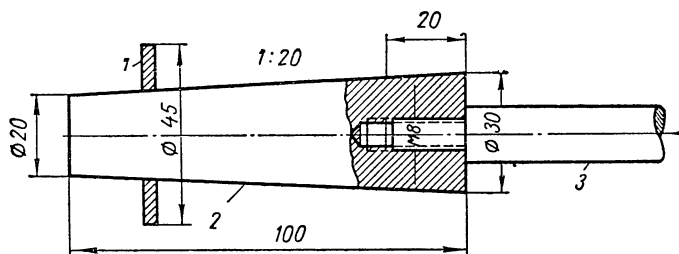


Рис. 40. Приспособление для демонстрации насадки обжимного кольца:

1 — латунное кольцо; 2 — штырь; 3 — металлический стержень-рукоятка.

Латунное кольцо, моделирующее шину или бандаж (затяжное кольцо), следует изготовить таким, чтобы в холодном состоянии оно надевалось на штырь примерно на $\frac{1}{3}$ его длины, считая от узкого конца. Такое кольцо, держа в тигельных щипцах, прогревают в пламени бунзеновской горелки и в нагретом состоянии надевают на штырь, после чего дают остыть. При охлаждении кольцо сужается и настолько плотно «садится» на железный штырь, что его не представляется возможным стащить при помощи щипцов. Чтобы снять кольцо, его следует вместе с конусообразным штырем вновь прогреть в пламени горелки. Так как тепловое расширение латуни больше, чем у железа, диаметр кольца увеличится значительно больше, чем диаметр железного штыря, и кольцо легко можно будет снять щипцами.

Примечания

1. Насаживание шин и бандажей в нагретом состоянии находит широкое применение в технике. Так, например, насаживаются бандаж на обода колес локомотивов и железнодорожных вагонов, нагретыми надеваются зубчатые обода на вал и т. п.

2. Необходимые для эксперимента детали: конусообразный железный штырь и латунное кольцо — могут быть изготовлены самими учащимися при их работе в слесарных мастерских с помощью приведенного рисунка (см. рис. 40).

28. Изгибание стеклянных трубок при одностороннем нагревании

Две стеклянные трубки (внешний \varnothing 5 мм, длина каждой 500 мм); дощечки из твердого дерева (30 мм \times 50 мм \times 100 мм); спички или свеча.

Подготовка эксперимента

В дощечке из твердого дерева просверливают два параллельных канала глубиной около 20 мм и диаметром 5 мм на расстоянии 50 мм между их центрами. В просверленные каналы плотно вставляют концы стеклянных трубок. Дощечку помещают на лабораторный стол так, чтобы трубки стояли вертикально (рис. 41).

Эксперимент

Между стеклянными трубками, ближе к их нижним вставленным в дощечку концам, вносят зажженную свечу (спичку). Пламенем нагревают внутренние, обращенные друг к другу стороны стеклянных трубок, и трубки при этом изгибаются наружу, вследствие чего их верхние концы заметно расходятся.

Подобный эксперимент достаточно отчетливо позволяет продемонстрировать результат неравномерного нагревания труб, чего нельзя не учитывать в технике.

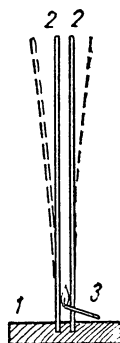


Рис. 41. Изгибание вертикально установленных стеклянных трубок при одностороннем их нагревании:

1 — деревянная подставка; 2 — стеклянные трубки; 3 — спичка или свеча.

29. Изгибание стеклянной трубки при одностороннем нагревании (вариант Э-28) (!)

Стеклянная трубка (\varnothing 6—7 мм, длина 150 мм); полоска картона с нанесенной равномерной шкалой, укрепленная вертикально на подставке; бунзеновская горелка; штатив с лапкой, снабженной корковыми прокладками.

Подготовка эксперимента

Один конец длинной стеклянной трубки зажимают в лапки штатива так, чтобы трубка располагалась горизонтально. Против свободного конца стеклянной трубки устанавливают на подставке полоску картона с равномерно нанесенными на нее штрихами (рис. 42).

Эксперимент

Боковой частью пламени бунзеновской горелки прогревают по всей длине нижнюю сторону горизонтально расположенной стеклянной трубки (рис. 42, деталь, помещенная в штриховом круге). В результате одностороннего нагревания стеклянная трубка изгибается в сторону, противоположную действию силы тяжести, то есть вверх.

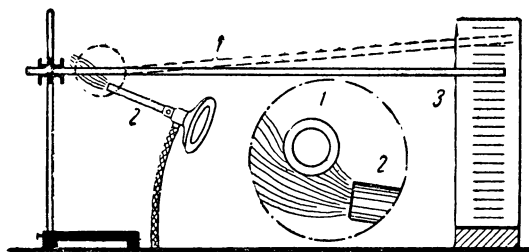


Рис. 42. Тепловое изгибание против сил тяжести стеклянной трубки, расположенной горизонтально: 1 — стеклянная трубка; 2 — горелка; 3 — вертикальная шкала.

Не следует слишком долго прогревать трубку, так как при этом может нагреться и верхняя сторона и в этом случае изгибание будет меньше. Как только прогревание будет прекращено и трубка остынет, она постепенно примет прежнее горизонтальное положение.

Можно прогреть и верхнюю сторону трубки; в этом случае она изогнется вниз, однако подобный эксперимент менее убедителен, чем первый.

Неравномерное тепловое расширение при одностороннем или локальном нагревании может привести к разрушению или изменению формы конструкции. Так, например, толстостенные стеклянные сосуды при одностороннем их нагревании или нагревании отдельных участков лопаются. Во избежание этого целесообразно толстостенные стеклянные сосуды нагревать в водяных или масляных ваннах, что обеспечит их равномерное расширение. При автогенной сварке толстых железных листов иногда после остывания возникает одностороннее выгибание сваренной конструкции. Этого можно избежать, приподнимая место шва во время сварки, тогда при остывании сваренные листы выпрямятся.

30. Демонстрация сил, возникающих при тепловом расширении тел

Заостренный с одного конца стальной стержень ($\varnothing 5$ мм, длина 150 мм); свинцовая пластинка (12 мм \times 40 мм \times 40 мм); стеклянная пластинка (12 мм \times 40 мм \times 40 мм); два куска спицы или две иголки; два штатива; два специальных П-образных держателя; бунзеновская горелка с лопатообразным соплом.

Подготовка эксперимента

В лапках двух штативов, поставленных на расстоянии около 230 мм друг от друга, укрепляют в горизонтальном положении металлическую штангу, на которую надеваются две муфты. В каждую из муфт зажимают по специальному П-образному

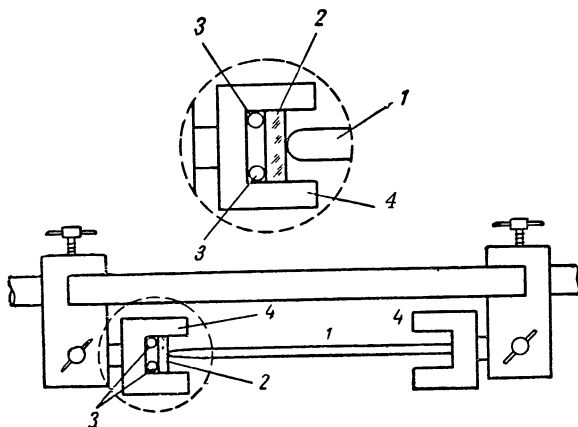


Рис. 43. Прибор для демонстрации сил, возникающих при тепловом удлинении стержней:

1 — металлический стержень; 2 — стеклянная пластинка;
3 — короткие кусочки спицы; 4 — П-образный держатель.

держателю. В один из держателей зажимают заостренный с одного конца стальной стержень, при этом тупой конец стержня должен упираться в дно держателя, а заостренный — в свинцовую или стеклянную пластинку, помещенную в другой держатель. Под стеклянную или свинцовую пластинку на дно держателя поместить два куса спиц или две иголки (рис. 43, деталь). Передвижением одной из муфт необходимо стержень плотно закрепить в держателях.

Эксперимент

Стальной стержень, зажаты в держатели, хорошо прогревают в пламени бунзеновской горелки. При этом происходит его тепловое удлинение. Под воздействием возникающих сил острый конец стержня заметно вдавливается в свинцовую пластинку. Если вместо свинцовой пластинки взята стеклянная, то под воздействием возникающих сил она разлетается на осколки.

Примечание

Держатели и специальные муфты с винтовыми зажимами учащиеся могут изготовить в школьных мастерских или в порядке производственного задания при прохождении практики на заводе, используя приведенные на рис. 43 эскизы.

31. Автосигнал повышения температуры, изготовленный из биметаллической пластинки

Биметаллическая пластинка; контактный винт; изолирующая планка; зажим-«крокодил»; три соединительных провода; электрическая лампочка (6 в); патрон к ней; электрический звонок; источник тока; бунзеновская горелка; штатив.

Для изготовления биметаллической пластинки: железная и цинковая или алюминиевая пластинки (1 мм × 15 мм × 250 мм); 10 мелких алюминиевых заклепок (Ø 2 мм); дрель с цилиндрическим сверлом (Ø 2 мм).

Изготовление биметаллической пластинки

В железной и цинковой или алюминиевой пластинках вдоль средней линии просверливают ряд отверстий на расстоянии около 15 мм друг от друга так, чтобы отверстия пластинок совпадали. При помощи заклепок две пластинки склепываются и таким образом образуют биметаллическую пластинку (железо + цинк или железо + алюминий).

До сборки основной установки следует продемонстрировать учащимся свойство биметаллической пластинки. Для этого пла-

стинку зажимают в лапке штатива и прогревают ее в пламени горелки. При нагревании пластинка изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом расширения, который на рис. 44 показан жирной линией.

Подготовка эксперимента

Биметаллическую пластинку, обращенную металлом с меньшим коэффициентом расширением вверх, закрепляют в горизонтальном положении в лапке штатива. При помощи зажима-«крокодила» к биметаллической пластинке подводят один из проводов, идущих от лампочки или звонка. Почти касаясь свободного конца биметаллической пластинки, прямо над ней помещают контактный винт, закрепленный в клемме изолирующей планки.

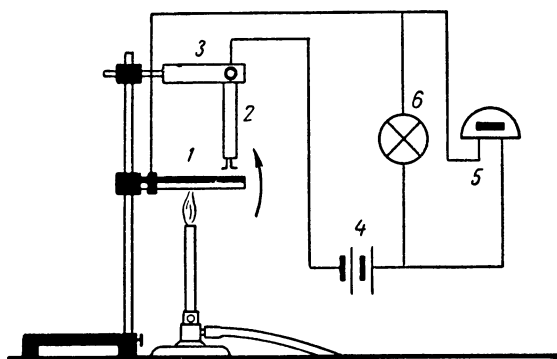


Рис. 44. Автосигнализатор повышения температуры:
1 — биметаллическая пластинка; 2 — контактный винт; 3 —
изолирующая планка; 4 — источник тока; 5 — электрический
звонок; 6 — сигнальная лампочка накаливания.

Под ту же клемму поджимают конец соединительного провода, идущего от источника тока. Третьим соединительным проводом соединяют вторую клемму источника тока со вторым проводом электрической лампочки или электрического звонка (рис. 44).

Эксперимент

Биметаллическую пластинку прогревают в пламени бунзеновской горелки; при этом пластинка изгибается вверх, замыкая электрическую цепь лампочки или звонка. Таким образом, при достаточном прогревании пластинки возникает световой или звуковой сигнал.

32. Эксперимент с моделью терморегулятора, включенного последовательно с нагревателем (I)

Биметаллическая пластинка; лампочка накаливания (100 вт, 127 в или 220 в); электрическая плитка (400 вт); лампочка тлеющего разряда; контактный винт; соединительные провода; изолирующая планка; патроны; зажим-«крокодил»; вилка со штеккерами для включения в розетку городской электросети.

Подготовка эксперимента

Над электрической плиткой или мощной электрической лампочкой закрепляют в горизонтальном положении биметаллическую пластинку, которая при нагревании изгибается книзу.

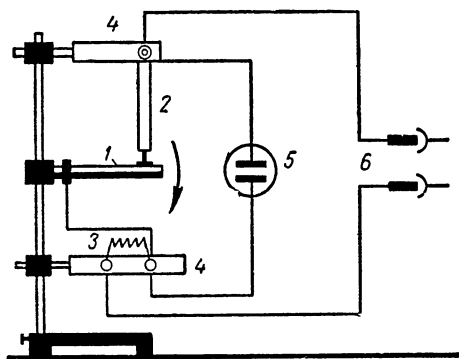


Рис. 45. Терморегулятор с биметаллической пластинкой:

1 — биметаллическая пластинка; 2 — контактный винт; 3 — электронагреватель; 4 — изолирующая планка; 5 — лампочка тлеющего разряда; 6 — штепсельная розетка.

Над биметаллической пластинкой, касаясь ее цинковой или алюминиевой поверхности, помещают контактный винт, укрепленный на изолирующей планке. При помощи соединительных проводов составляется последовательная цепь из источника тока, электрической плитки, биметаллической пластинки и контактного винта. Параллельно контакту винта с биметаллической пластинкой включают лампочку тлеющего разряда.

Эксперимент

На установку подают ток, который последовательно проходит через электрическую плитку (или лампочку накаливания), биметаллическую пластинку и контактный винт (рис. 45). При повышении температуры воздуха над электрическими нагревателями нагревается и биметаллическая пластинка; при этом она изгибается вниз и отходит от контактного винта. Основная цепь размыкается, хотя под действием ничтожно малого тока тотчас же начинает светиться лампочка тлеющего разряда. Ее свечение будет указывать на наличие разности потенциалов между биметаллической пластинкой и контактным винтом. Свечение прекращается, как только снова замкнется основная цепь.

По мере охлаждения воздуха вокруг биметаллической пластинки она остывает и, вновь выпрямившись, замыкает цепь.

Такая установка моделирует терморегулятор, позволяющий поддерживать в заданных пределах постоянную температуру помещения.

Примечания

1. Следует помнить, что эксперимент проводится под обычным бытовым напряжением (220 в) и в установке имеются неизолированные участки.

2. Включение лампочек тлеющего разряда см. также: часть 4, «Электричество», стр. 66.

33. Терморегулятор — тепловое реле (вариант установки, описанной в Э-32) (!)

Биметаллическая пластинка; два контактных винта; две изолирующие планки; стальная пластинка (кусоч часовая пружины); электромагнит; лампочка накаливания (100 вт, 127 в или 220 в); электроплитка; штекеры или вилка со штеккерами для розетки городской электрической сети; соединительные провода; зажим-«крокодил»; два штатива; аккумулятор на 4 в или малый агрегат питания.

Подготовка эксперимента

Биметаллическую пластинку укрепляют в горизонтальном положении в лапки штатива на такой высоте, чтобы под ней можно было расположить лампочку накаливания или электроплитку.

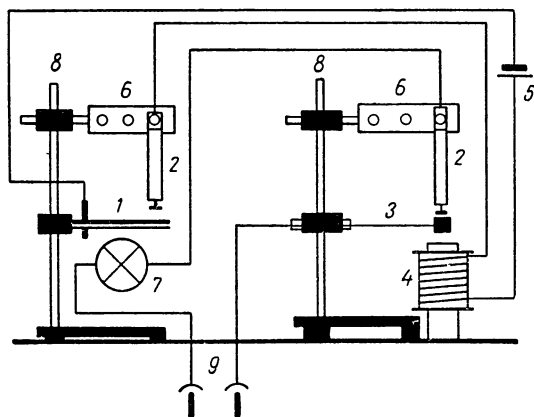


Рис. 46. Терморегулятор (схема включения):

1 — биметаллическая пластинка; 2 — контактные винты; 3 — контактный якорек на стальной пластинке; 4 — электромагнит; 5 — источник тока (до 4 в); 6 — изолирующие планки; 7 — электрическая лампочка; 8 — штативы; 9 — штекерная розетка.

Над биметаллической пластинкой, обращенной металлом с малым коэффициентом расширения кверху, укрепляют при помощи изолирующей планки контактный винт, однако так, чтобы он не касался биметаллической пластинки. На втором штативе укрепляют стальную пластинку, над которой расположен, касаясь ее, второй контактный винт, закрепленный на изолирующей пластинке. Под стальной пластинкой устанавливают электромагнит.

При помощи соединительных проводов собирают вначале низковольтную цепь электромагнита от источника питания в 4 в (рис. 46).

Для этой цели один из полюсов источника тока при помощи зажима-«крокодила» соединяют с биметаллической пластинкой.

После этого собирают цепь электронагревателя, на которую подается ток городской сети. (Напряжение 120—220 в. Осторожно!) Так собирают две независимые электрические цепи — «низковольтную» и «высоковольтную». При этом тепловое действие «высоковольтной» цепи включает «низковольтную», включение последней приводит к выключению первой, то есть имеет место релейная связь.

Эксперимент

Как только штекеры или вилка высоковольтной цепи установки включаются в розетку городской сети, зажигается электрическая лампочка или начинает нагреваться спираль электроплитки. По мере нагревания пространства над лампочкой или плиткой прогревается и биметаллическая пластинка, и при достижении определенной температуры пластинка изгибается вверх настолько, что касается контактного винта и, замыкая низковольтную цепь, тем самым включает электромагнит. Электромагнит притягивает к себе стальную пластинку, которая отходит от контактного винта, и размыкает высоковольтную цепь; лампочка гаснет или выключается электроплитка. Но едва температура пространства, окружающего биметаллическую пластинку, понизится, пластинка выпрямится и отойдет от контактного винта; теперь разомкнется низковольтная цепь, и электромагнит освободит стальную пластинку, которая вновь замкнет высоковольтную цепь, и весь процесс повторится.

Регулируя высоту контактного винта над биметаллической пластинкой, можно регулировать и тепловой режим пространства вокруг нее.

Примечания

1. Поместив установку в закрытую камеру, можно моделировать, например, электрический инкубатор с тепловым режимом в заданных пределах изменения температуры.

2. См. также примечание к Э-32.

34. Тепловое удлинение проволоки

Две медные проволоки ($\varnothing 0,3$ мм, длина каждой 500 мм); деревянная рейка-указатель (5 мм \times 15 мм \times 800 мм); гиря (0,5 кг); полоска картона с равномерной шкалой, укрепленная на подставке; высокий штатив; бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

Две медные проволоки подвешивают на расстоянии около 50 мм друг от друга к стержню, зажатому в лапки штатива (рис. 47).

Нижние концы проволок закрепляют на длинной тонкой деревянной рейке, служащей указателем. На ту же рейку между концами проволок подвешивают достаточно тяжелую гирю, которая с одной стороны натягивает проволоки, а с другой — удерживает деревянную рейку в горизонтальном положении. Нахождение места подвеса гири проводится опытным путем. Свободный конец длинной рейки-указателя направляют на полоску картона с нанесенной равномерной шкалой, установленную в вертикальном положении.

Эксперимент

Нагревание на легком пламени бунзеновской горелки одной из проволок (на рисунке — правой) приводит к ее тепловому удлинению, в результате чего указатель опускается вниз по шкале. При нагревании другой проволоки она также удлиняется, и это приводит к поднятию указателя по шкале. Таким образом, нагревая по очереди то одну, то другую проволоку, можно вызвать колебательное движение стрелки-указателя. Эксперимент позволяет убедиться, что нагревание первой проволоки и одновременное охлаждение второй приводит к такому же эффекту, как если бы нагревалась вторая проволока и соответ-

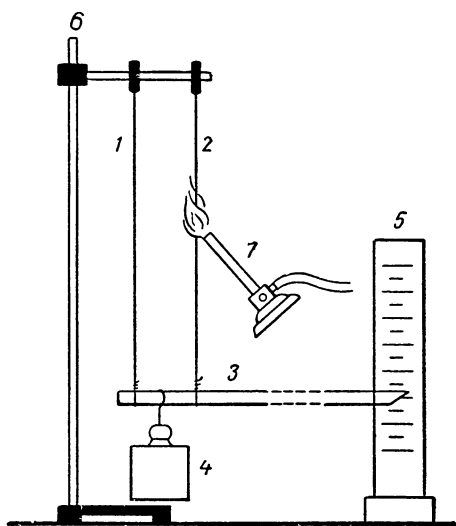


Рис. 47. Тепловое удлинение проволоки:

1 и 2 — медная проволока; 3 — рычаг-указатель; 4 — гиря-утяжелитель; 5 — вертикальная шкала; 6 — штатив; 7 — горелка.

ственно охлаждалась первая. Подобный эксперимент может быть проведен и в порядке лабораторной работы; его целесообразно дать на уроках повторения, так как внешний эффект заставит учащихся, с одной стороны, сопоставить результаты этого эксперимента с изученными на предыдущих занятиях, а с другой — будет стимулировать их логическое мышление.

35. Определение коэффициента линейного расширения металла при помощи скользящего валика с указателем

Три трубки: железная, латунная и алюминиевая (внутренний \varnothing 10 мм, длина каждой 1000 мм); два деревянных бруска (60 мм \times 60 мм \times 60 мм); металлическая планка; стеклянная пластинка (60 мм \times 100 мм); деревянный подкладыш (высота 100 мм); спица вязальная; химическая колба (500 мл); резиновая пробка к колбе; прямоугольно изогнутая стеклянная трубка; два куска резинового шланга (\varnothing 10 мм, длины 150 мм и 500 мм); треножник; асбестированная сетка; масштабная линейка; термометр (0°C — 100°C , с ценой деления в 1°); микрометр; транспортир; напильник; бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

На каждую из трех трубок из различного материала на расстоянии 50 мм от одного из концов при помощи напильника наносят круговую бороздку. Трубки должны опираться на металлическую планку, прибитую к деревянному бруску (рис. 48, левый брусок).

В металлической планке предварительно делают V-образный вырез с острыми краями, что предотвращает возможность перемещения одного из концов трубки. Под другой конец металлической трубки подставляют второй брусок, на верхний торец которого наклеивают стеклянную пластинку (рис. 48, правый брусок). Под трубку на расстоянии 800 мм от металлической планки с V-образным вырезом подкладывают спицу с насаженной на нее и обращенной вниз соломинкой. На боковую обращенную к классу сторону бруска наклеивают кусок картона с равномерной радиальной шкалой или прибивают транспортир. Закрепленный конец исследуемой металлической трубки при помощи длинного резинового шланга соединяют с колбой кипятильника. Короткий кусок резинового шланга надевают на свободный конец металлической трубки. Целесообразно придать металлической трубке несколько наклонное положение в сторону свободного конца,

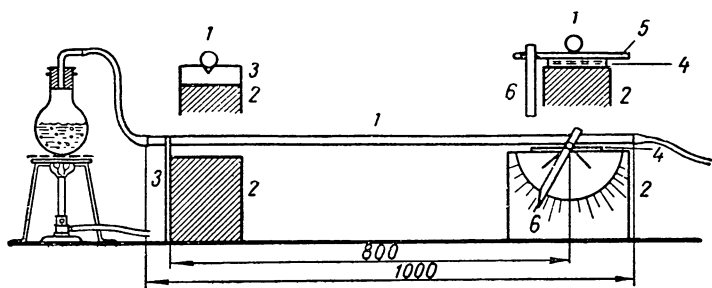


Рис. 48. Установка для демонстрации теплового удлинения трубок из различного материала:

1 — трубка; 2 — подставки; 3 — полоска жести с V-образным вырезом; 4 — стеклянная пластинка; 5 — кусок спицы; 6 — соломинка-указатель.

Эксперимент

Воду, налитую в колбу, доводят до кипения. Образующийся пар должен выходить наружу. Для этого пробку, закрывающую колбу, следует вынуть. При помощи микрометра измеряют диаметр спицы (d) и, надев на нее соломинку-указатель, подкладывают спицу под металлическую трубку на стеклянную пластинку. Вращением спицы устанавливают указатель прибора на нулевое деление радиальной шкалы. Измеряют комнатную температуру (t_1°), которая одновременно и является начальной температурой металлической трубки. Измеряют с максимальной доступной точностью длину l исследуемой трубки от металлической скобы до центра спицы. Колбу с кипящей водой закрывают резиновой пробкой с прямоугольно изогнутой стеклянной трубкой и направляют водяной пар в металлическую трубку.

По мере прогрева трубки она удлиняется, и соломинка-указатель скользит по радиальной шкале. Как только из свободного конца металлической трубки прекратится вытекание конденсирующейся воды и будет выходить только пар, можно считать, что вся трубка достаточно прогрелась и ее температура (t_2°) равна температуре пара, то есть близка к 100°C .

Пропуская еще в течение 2—3 минут пар, записывают показания соломинки-указателя.

Расчет

Пользуясь рис. 49, трудно представить, что при прокатывании спицы по непо-

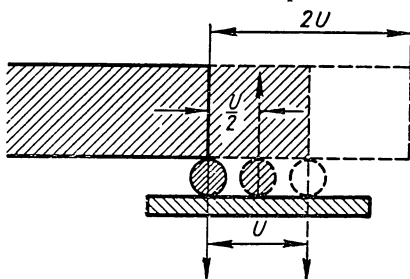


Рис. 49. Зависимость между вращением спицы-подшипника и смещением конца трубки (U — длина окружности спицы).

движному основанию, в нашем случае по стеклянной пластинке, за один полный ее оборот конец трубки переместится относительно начального положения на расстояние, равное двум длинам окружности спицы, или

$$360 \sim 2S.$$

Если обозначить абсолютное удлинение трубки через Δl , а угол поворота указателя φ , то можно составить следующую пропорцию:

$$\frac{\varphi}{360} = \frac{\Delta l}{2S},$$

или

$$\Delta l = \frac{2S\varphi}{360}.$$

Так как диаметр спицы был измерен, то формулу можно видоизменить:

$$\Delta l = \frac{2\pi d \varphi}{360} = \frac{\pi d \varphi}{180}.$$

Но так как коэффициент линейного расширения определяется как величина, показывающая прирост каждой единицы длины при нагревании стержня на 1° , то есть

$$\beta = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t^\circ},$$

то в то же время

$$\beta = \frac{\pi d \varphi}{180 l_0 (t_2^\circ - t_1^\circ)}.$$

При достаточной точности измерения в результате эксперимента удастся получить коэффициенты линейного расширения с ошибками, не превышающими 10% от их табличного значения.

Примечания

1. Этим же методом можно определить с достаточной для технических целей точностью значение коэффициентов линейного расширения стекла и ряда других неметаллических веществ, применяя трубки достаточно большого внутреннего диаметра. В этом случае следует на такие трубки надевать два резиновых колечка, сблизив их настолько, чтобы между ними поместились острые края V-образного выреза металлической полоски, прибитой на брус.

2. См. также Э-36, Э-37, Э-38.

36. Определение коэффициента линейного расширения металла при помощи рычажного указателя

Всё то же, что и для Э-35, и, кроме того: металлическая планка ($2\text{ мм} \times 10\text{ мм} \times 40\text{ мм}$); уголкового рычаг из металла; два грузика с крючками; блок на стержне; зеркальная шкала на подставке; масштабная линейка; микрометр; три куса спицы (длина по 30 мм); доска ($40\text{ мм} \times 80\text{ мм} \times 600\text{ мм}$); три деревянных бруска ($80\text{ мм} \times 80\text{ мм} \times 100\text{ мм}$; $15\text{ мм} \times 70\text{ мм} \times 130\text{ мм}$; $40\text{ мм} \times 45\text{ мм} \times 80\text{ мм}$); четыре штатива.

Подготовка эксперимента

Микрометр, жало которого выдвинуто на половину длины, укрепляют за дужку в вертикально направленной лапке короткого штатива (рис. 50). Позади штатива с микрометром уста-

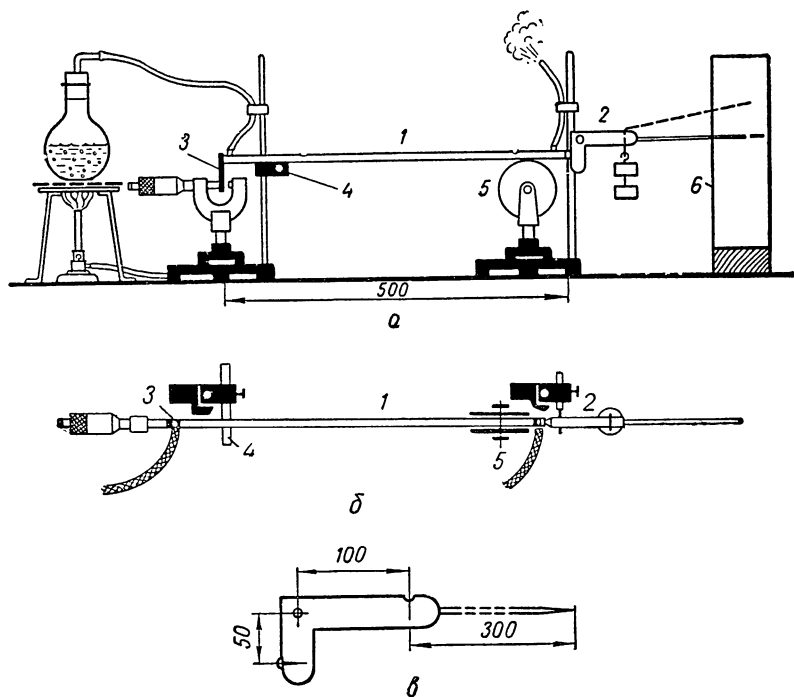


Рис. 50. Установка для определения коэффициента линейного расширения (первый вариант):

a — вид сбоку; *б* — вид сверху; *в* — рычаг 2; 1 — трубка; 2 — уголкового рычаг со стрелкой-указателем; 3 — упорная планка; 4 — ось, поддерживающая трубку; 5 — блок на трубочке; 6 — вертикальная шкала.

навливают штатив и в его муфте укрепляют круглую ось, на которую затем опирают исследуемые металлические трубки.

Во втором коротком штативе укрепляют стержень блока. Позади этого штатива устанавливают высокий штатив и на нем укрепляют ось уголкового рычага, к одному из плеч которого подвешивают грузики. На круглую ось высокого штатива и на желоб в колесике блока кладут металлическую трубку с двумя штуцерами, на один из которых (входной) надет длинный резиновый шланг, на другой (выходной) — короткий резиновый шланг.

На запаянный торцовый конец металлической трубки у входного штуцера дополнительно напаяют полосу толстой жести, обращенную свободным концом в сторону, обратную штуцеру. Металлическая трубка этой напаянной полоской должна упираться в жало микрометра, а другим своим концом — в свободное от грузика плечо уголкового рычага. На угольном рычаге укрепляют длинную спицу, против свободного конца которой устанавливают зеркальную шкалу.

Порядок проведения эксперимента

1. При помощи масштабной линейки измеряют начальную длину трубки l_0 .

2. Измеряют комнатную температуру (t_1°) и тем самым — начальную температуру металлической трубки.

3. Вращением жала микрометра выводят спицу-указатель уголкового рычага на какое-то определенное деление зеркальной шкалы и записывают показания микрометра.

4. Колбу с кипящей водой закрывают резиновой пробкой с прямоугельно изогнутой стеклянной трубкой и тем самым направляют водяной пар в металлическую трубку.

5. По истечении не менее 10 минут после начала пропускания пара производят измерение прироста длины металлической трубки. В результате теплового удлинения трубки смещается угольный рычаг, а вместе с ним и стрелка-указатель. Вращением жала микрометра перемещают всю трубку в сторону микрометра, давая опуститься спице-указателю в начальное положение. По разности показаний микрометра определяют прирост длины металлической трубки (Δl).

Расчет

Считая температуру металлической трубки после ее прогрева равной температуре пара, то есть примерно 100°C (t_2°), расчет ведут по формуле:

$$\beta = \frac{\Delta l}{l_0 (t_2^\circ - t_1^\circ)} .$$

Для большей точности температуру трубки можно определить, измеряя температуру выходящего из нее пара, для чего в выходной резиновый шланг нужно поместить термометр, однако так, чтобы он не препятствовал выходу пара.

В а р и а н т у с т а н о в к и

Этот эксперимент может быть проведен в порядке лабораторной работы, однако в этом случае школа должна иметь достаточное количество приборов. Вот почему целесообразно установку видоизменить, и прежде всего отказаться от четырех штативов. Само собой разумеется, что уголкового рычага должен быть сделан не из фанеры, а из металла. Его могут изготовить сами учащиеся во время производственной практики.

Два штатива, на которых укрепляют микрометр и входной конец металлической трубки, можно заменить деревянным бруском, закрепив на нем детали металлическими скобками, а исследуемую трубку опереть на кусок спицы, подложенной под нее на деревянный брусок (рис. 51).

Штативы для уголкового рычага и выходного конца трубки также можно заменить двумя склеенными деревянными брусками (рис. 51, б), в один из которых вбит штырек для рычага. На выступ склеенного бруска под исследуемую трубку также подкладывают кусочек спицы. В таком варианте установки все деревянные детали целесообразно укрепить на одной общей доске, которая и будет служить основанием прибора, а это облегчит раздачу установок на лабораторные столы. Сам порядок проведения эксперимента остается прежним.

П р и м е ч а н и я

1. В том случае, если эксперимент проводится на штативах (основной вариант), совершенно необходимо предотвратить возможность смещения штативов друг относительно друга. Для этой цели высокие штативы можно «связать» между собой, зажав в лапках горизонтально расположенную штангу длиной около 1000 мм, или, наконец, штативы можно закрепить струбцинками.

2. См. также Э-35, Э-37 и Э-38.

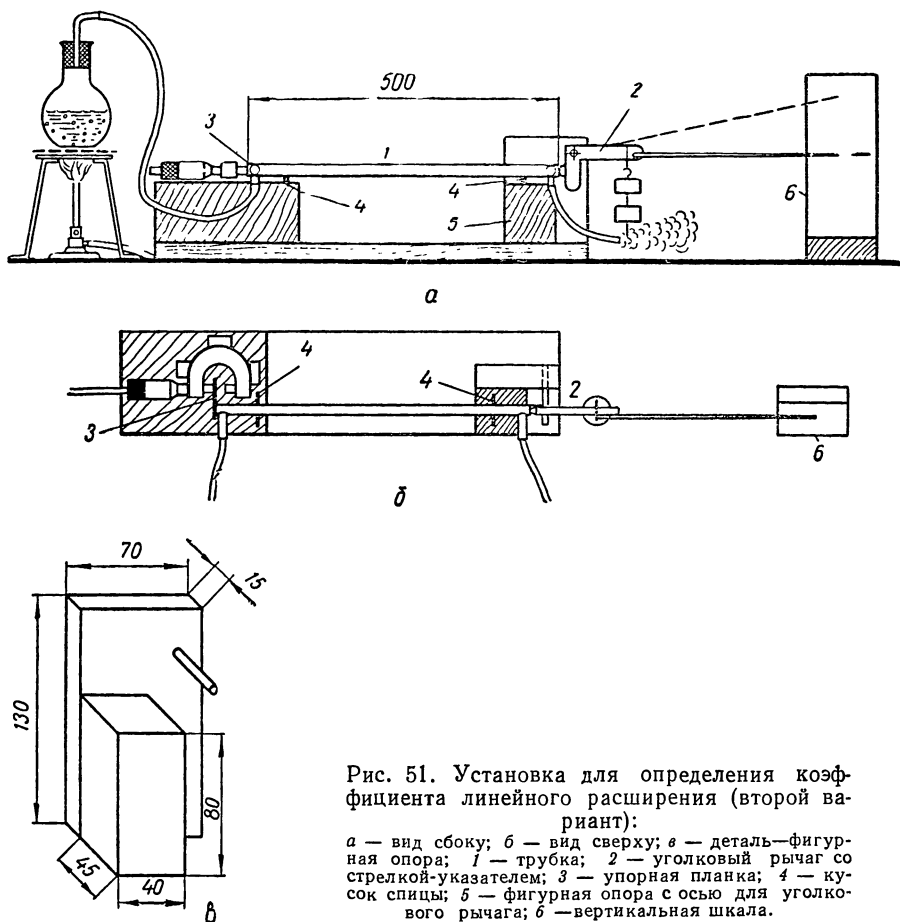


Рис. 51. Установка для определения коэффициента линейного расширения (второй вариант):

а — вид сбоку; б — вид сверху; в — деталь—фигурная опора; 1 — трубка; 2 — уголкоый рычаг со стрелкой-указателем; 3 — упорная планка; 4 — кусок спицы; 5 — фигурная опора с осью для уголкового рычага; 6 — вертикальная шкала.

37. Определение коэффициента линейного расширения металла при помощи стрелочного микрометра

Все то же, что для Э-35; кроме того, стрелочный микрометр.

Подготовка эксперимента

Металлическая трубка со штуцером на одном из концов, торец которого запаян, прочно зажимается другим концом в лапки штатива в горизонтальном положении. Штатив при помощи струбцилки закрепляют на столе. Свободный конец трубки помещают в желоб колесика блока и при помощи рези-

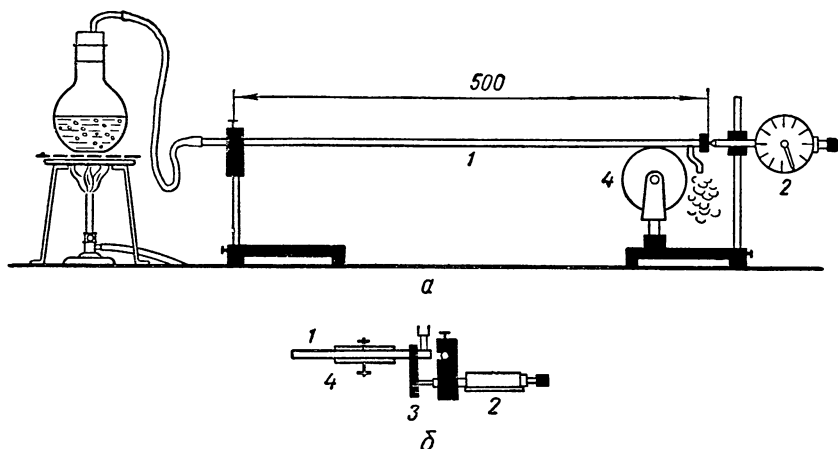


Рис. 52. Установка для определения коэффициента линейного расширения (третий вариант):

a — общий вид; *б* — деталь—правый узел; 1 — трубка; 2 — стрелочный микрометр; 3 — упорная планка; 4 — блок на штативе.

нового шланга соединяют с колбой кипятыльника. На штуцер надевают короткий резиновый шланг для выпуска пара (рис. 52).

В конце трубки, перед штуцером перпендикулярно длине трубки предварительно напаяют металлическую планку, в которую и упирают наконечник стержня стрелочного микрометра. Микрометр следует закрепить в лапки штатива. Узел крепления планки и микрометра изображен на схеме, помещенной ниже основного рисунка.

Собрав установку, но не присоединяя ее к колбе-кипятильнику, измеряют длину трубки l_0 при комнатной температуре от центра муфты, в которую зажат конец трубки без штуцера, до внешней стороны напаянной металлической пластинки. Затем измеряют комнатную температуру (t_1°) и тем самым начальную температуру трубки. После этого записывают начальное показание стрелочного микрометра. При помощи резинового шланга соединяют металлическую трубку с колбой кипятыльника и направляют пар в трубку.

Пар через металлическую трубку следует пропускать несколько минут и после того, как прекратится вытекание из штуцера конденсирующейся воды, для чего трубка прогревается дополнительно в течение 3—5 минут.

Измеряют температуру выходящего из штуцера пара, для чего баллончик термометра вводят в резиновый шланг, надетый на штуцер (t_2°).

После того как температура выходящего пара (t_2°) установится и будет близка к 100°C , а следовательно, установится такая же температура и по всей длине металлической трубки, определяют прирост длины (Δl) по новому показанию стрелочного микрометра.

Расчет

На основании данных эксперимента определяют коэффициент линейного расширения по формуле:

$$\beta = \frac{\Delta l}{l_0(t_2^\circ - t_1^\circ)}.$$

38. Определение коэффициента линейного расширения при помощи маятникового подвеса

То же, что и для Э-35; кроме того: лезвие безопасной бритвы; планка из твердого дерева (5 мм × 60 мм × 100 мм); деревянный куб-подставка; соломинка; зеркальная шкала.

Подготовка эксперимента

Один из концов металлической трубки прочно укрепляют в лапке штатива, другой конец опирают на острое лезвие безопасной бритвы, поставленное в вертикальной плоскости на планку из твердого дерева. На лезвии бритвы укрепляют длинную соломинку-указатель с наклеенной на ее свободный конец бумажной стрелкой. Верхний конец соломинки-указателя должен проектироваться на зеркальную шкалу, укрепленную в лапке высокого штатива. Конiec исследуемой трубки, зажатый в лапке штатива, при помощи резинового шланга соединяют с колбой-кипятильником (рис. 53, а).

Не закрывая колбу-кипятильник пробкой, доводят воду до кипения. Измеряют длину лезвия бритвы h и полную длину стрелки-указателя от деревянной пластинки, о которую опирается бритва, до верхнего конца соломинки H . Затем записывают показания стрелки-указателя на зеркальной шкале, после чего измеряют комнатную температуру t_1° и тем самым начальную температуру трубки.

Измеряют длину трубки от средней точки участка, закрепленного в муфте, до точки касания трубки с лезвием безопасной бритвы l_0 . При помощи резинового шланга направляют пар в исследуемую металлическую трубку и измеряют величину отклонения стрелки-указателя A по зеркальной шкале в миллиметрах.

Расчет

Для определения коэффициента линейного расширения используем формулу:

$$\beta = \frac{\Delta l}{l_0(t_2^\circ - t_1^\circ)},$$

где Δl — прирост длины металлической трубки. Эту величину легко рассчитать по отклонению верхнего конца стрелки-указателя. Из подобия треугольников

$$\frac{\Delta l}{A} = \frac{h}{H},$$

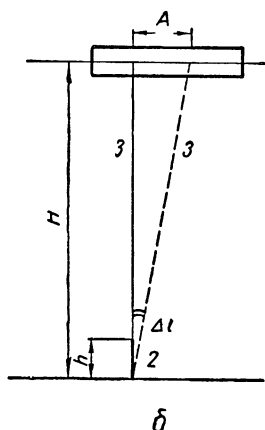
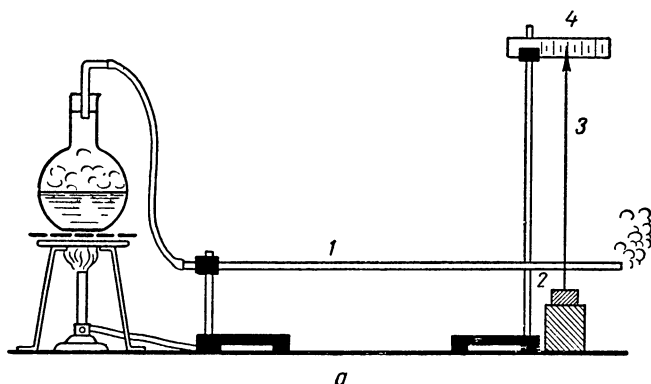


Рис. 53. Установка для определения коэффициента линейного расширения по углу отклонения указателя из лезвия для безопасной бритвы:

a — общий вид установки; *б* — схема расчетных измерений; 1 — трубка; 2 — лезвие безопасной бритвы, на которое опирается конец трубки; 3 — стрелка-указатель; 4 — шкала.

откуда

$$\Delta l = \frac{Ah}{H}, \quad \beta = \frac{Ah}{Hl_0(t_2^\circ - t_1^\circ)}.$$

В этом эксперименте, как, впрочем, и в ранее описанных экспериментах, Э-35, Э-36 и Э-37, в качестве исследуемой трубки не обязательно брать металлическую и совсем не обязательно — железную или алюминиевую.

§ 7. ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

39. Тепловое расширение жидкостей

Три одинакового размера пробирки; три просверленные резиновые пробки к ним; три стеклянные трубки (\varnothing 2 мм, длина 400 мм); тонкий картон (200 мм \times 450 мм); миллиметровая бумага; три проволоки (\varnothing 1 мм, длина каждой 450 мм); прочный картон (200 мм \times 200 мм); химический стакан (800 мл); треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; керосин; спирт денатурированный; спиртовые красители; штатив.

Подготовка эксперимента

Три пробирки одинакового размера наполняют подкрашенными жидкостями: водой, керосином и спиртом — и затыкают резиновыми пробками со вставленными в них длинными стеклянными трубками. Под пробками не должны оставаться пузырьки воздуха, для чего стеклянные трубки вставляют так, чтобы их нижние концы не выступали из пробок внутрь пробирок. При затыкании пробирок пробками жидкости поднимаются в трубках.

Химический стакан, наполненный водой и поставленный на треножник, закрывается крышкой из плотного картона, в которой прорезаны отверстия для пробирок. Все три пробирки через прорезы в картонной крышке погружаются в воду, налитую в химический стакан. Пробирки своим рантом должны опираться на картонную крышку так, чтобы не касаться дна химического стакана и почти полностью оставаться погруженными в налитую в него воду. После этого на стеклянные трубки надевают тонкий картон, предварительно наклеив на него миллиметровую бумагу. Целесообразно, чтобы высоты поднятия были не более 20 мм и обязательно одинаковы во всех трубках. Если уровни жидкостей будут различны, то избыточную жидкость следует удалить при помощи железной проволоки.

Общий уровень наносят штриховой чертой на миллиметровую бумагу (рис. 54). Незначительную разницу уровней можно выровнять большим или меньшим погружением пробки в пробирку.

Жидкости, налитые в пробирки, нагревают в водяной бане. Уже при незначительном нагревании наблюдается различное повышение уровней жидкостей в трубках. При этом спирт и керосин, расширяясь значительно больше, чем вода, поднимаются в трубке выше. Окончательный результат эксперимента следует описать при достижении температуры порядка 50°C .

Примечание

Эксперимент, безусловно, следует прервать прежде, чем будет достигнута температура кипения спирта ($+78^{\circ}\text{C}$).

40. Изменение объема воды при изменении температуры в интервале от 0°C до 10°C

Круглодонная колба (250 мл); резиновая пробка к ней; стеклянная трубка (\varnothing 2 мм, длина 400 мм); химический стакан (1000 мл); полоска миллиметровой бумаги; проволоочная мешалка; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; термометр (от -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); штатив с лапкой, снабженной корковыми прокладками; лед.

Подготовка эксперимента

В химический стакан наливают около 500 мл холодной воды и насыпают мелко истолченный лед так, чтобы он почти доверху заполнил стакан. Смесь воды со льдом время от времени перемешивают при помощи проволоочной мешалки примерно в течение 3—5 минут. В эту смесь погружают круглодонную колбу, наполненную возможно более холодной водой, заткнутую резиновой пробкой со вставленной в нее стеклянной трубкой. При этом под пробкой не должно находиться пузырьков воздуха. Вода в трубке должна быть примерно на 100 мм выше верхнего края пробки. На пробку надевают полоску миллиметровой бумаги.

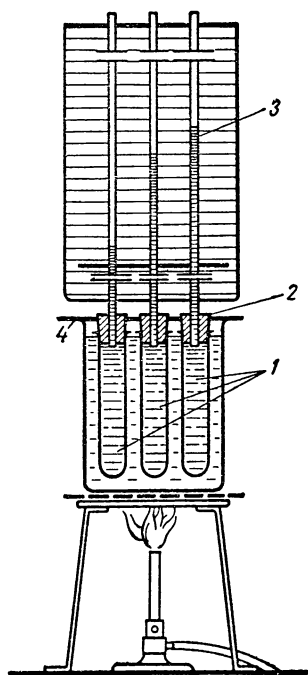


Рис. 54. Демонстрация теплового расширения различных жидкостей:

1 — пробирки, наполненные различными жидкостями; 2 — резиновые пробки; 3 — капиллярные трубки; 4 — полоска толстого картона.

Погрузив колбу в смесь воды со льдом, ее закрепляют за трубку и горлышко в лапке штатива, подложив кусочки пробки (рис. 55). На небольшом пламени бунзеновской горелки смесь воды со льдом, хорошо перемешивая, подогревают так, чтобы во всей толще смеси была достаточно равномерная температура. После того как лед растает, начнется нагревание воды в стакане, а значит, и в колбе. Первое время можно наблюдать заметное понижение уровня в трубке, и затем уровень начнет повышаться.

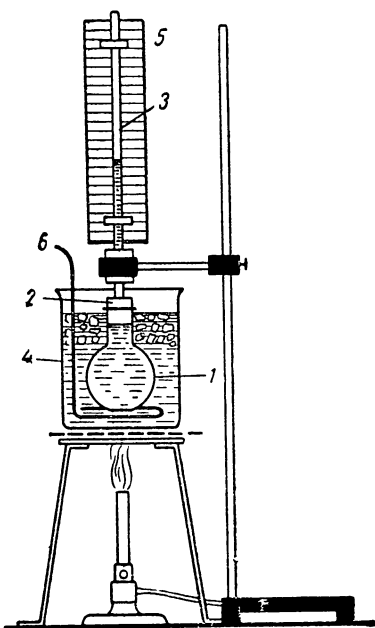


Рис. 55. Установка для демонстрации особенности расширения воды:

1 — колба, наполненная водой; 2 — резиновая пробка; 3 — капиллярная трубка; 4 — химический стакан с водой и плавающими в ней кусочками льда; 5 — шкала; 6 — мешалка.

Перемещение уровня воды в трубке лишь в некоторой мере указывает на последовательное изменение объема воды при ее нагревании от 0°C и выше; при этом лишь качественно можно указать, что при нагревании от 0°C до $+4^{\circ}\text{C}$ объем воды уменьшается и увеличение объема начинается только после того, как температура воды окажется выше $+4^{\circ}\text{C}$. Этот эксперимент лишь предварительный, так как в нем не учитывается изменение объема сосуда в результате нагревания.

41. Температурная стратификация воды при охлаждении ее поверхности до 0°C

Высокий стеклянный цилиндр ($\varnothing 120\text{ мм}$, высота не менее 500 мм); проволочная мешалка; суховые нитки; термометр (от -10°C до 50°C , с ценой деления в 1°); лед.

Высокий стеклянный цилиндр наполовину наполняют холодной водой, а затем почти до краев мелким колотым льдом. Смесь льда и воды тщательно перемешивают не менее 3—6 минут и, дав ей некоторое время отстояться, поверх смеси наносят новый слой мелко истолченного льда и вновь дают спокойно стоять 5—10 минут с тем, чтобы вода, свободная ото льда

и находящаяся в нижней части цилиндра, могла несколько нагреться. В цилиндр погружают на тонкой нитке термометр вначале в толщу колотого льда, плавающего на поверхности воды; при этом нетрудно убедиться, что температура в этом слое близка к 0°C , затем — в воду на глубину 5 см от слоя льда; там температура воды близка к 2°C ; при погружении на глубину около 10 см убеждаются в дальнейшем повышении температуры и, поместив термометр на максимальную глубину, устанавливают, что у дна сосуда температура близка к 4°C (рис. 56).

Этот эксперимент позволяет продемонстрировать температурную стратификацию в толще воды, покрытой льдом. Высокий цилиндр моделирует водоем.

Примечания

1. Так как время проведения эксперимента значительно, то установку следует подготовить заранее так, чтобы измерение температур на различной глубине провести на самом уроке. Целесообразно результат эксперимента оформить в виде графика на классной доске.

2. Необходимо отметить, что наблюдаемая температурная стратификация в воде, покрытой льдом, в природных условиях имеет огромное значение, так как в водоемах придонный слой сохраняет температуру $+4^{\circ}\text{C}$, а при этой температуре не гибнут рыбы.

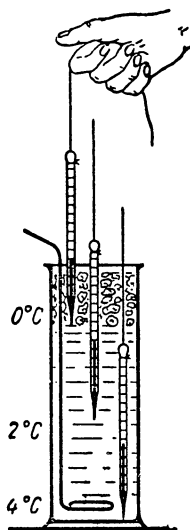


Рис. 56. Температурная стратификация столба воды при наличии ледяного покрова.

42. Демонстрация теплового расширения газа при помощи восходящей (напорной) трубки

Две плоскодонные колбы (по 250 мл); резиновая пробка со стеклянной трубкой (\varnothing 3 мм, длина 300 мм); две резиновые пробки со вставленными в них манометрическими трубками; стеклянная трубка с шаровым расширением; химический стакан (800 мл); стеклянный сосуд (5 л); полоска гибкого картона; миллиметровая бумага; двойной термоскоп; стеклянный шаровой теплоприемник; бунзеновская горелка; аппарат Киппа; мрамор; соляная кислота (10 %); городской газ; резиновый шланг; термометр; два штатива.

Эксперимент

Вариант 1. Плоскодонную колбу наполняют подкрашенной водой так, чтобы слой воды был не более 30 мм. Колбу закрывают резиновой пробкой со вставленной в нее прямой манометрической напорной трубкой. Трубка должна доходить почти до дна колбы так, чтобы нижний конец находился под водой (рис. 57, а). Если теперь колбу прогреть руками, то под действием

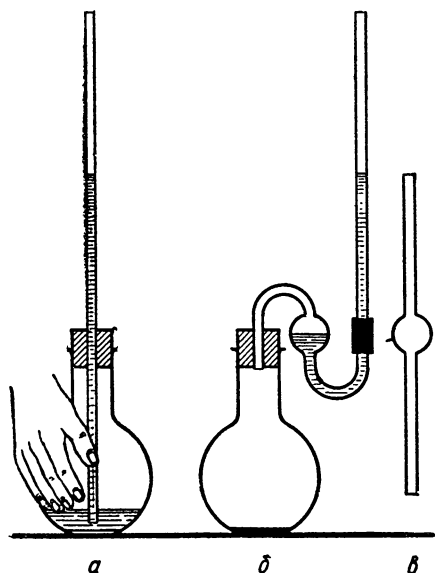


Рис. 57. Демонстрация теплового расширения воздуха при помощи манометрической трубки:

а — прибор с прямой трубкой; б — прибор с дважды изогнутой трубкой; в — деталь: трубка с шарообразным расширением.

теплового расширения воздуха и создавшегося в результате этого дополнительного давления на поверхность воды последняя начнет подниматься в напорной трубке.

Прямую напорную трубку можно заменить трубкой с шаровым расширением (рис. 57, б). В этом случае воду наливают не в колбу, а в U-образное колено напорной трубки.

Вариант 2. В этом варианте основного эксперимента используется двойной термоскоп (см. примечание). Присоединив к одному из манометров термоскопа теплоприемник, представляющий собой небольшую тонкостенную стеклянную колбу (рис. 58), открыва-

ют краны манометров, выравнивая давление. После этого кран манометра с присоединенным теплоприемником закрывают, а теплоприемник прогревают рукой. В результате теплового расширения воздуха в теплоприемнике возникает дополнительное давление, под действием которого изменяется положение уровней в манометре. По разности уровней в манометрах можно судить о тепловом расширении воздуха.

Вариант 3. Сравнение теплового расширения различных газов может быть продемонстрировано с помощью применения двух колб, одинаковых по объему, оснащенных напорными трубками (рис. 59). Одну из колб наполняют углекислым газом, пользуясь аппаратом Киппа, другую оставляют на-

полненной воздухом. Можно также заполнить первую колбу светильным газом. Обе колбы погружают в стеклянный сосуд, наполненный теплой водой. По поднятию уровня жидкости в напорных трубках судят о тепловом расширении газа. Колбы, как и в первом варианте основного эксперимента, должны быть наполнены подкрашенной водой. Сопоставление результатов эксперимента, проведенного с различными газами, позволяет утверждать, что прирост объема нагретого газа не зависит от природы газа.

Примечание

Двойной термоскоп представляет собой сочетание двух жидкостных манометров, смонтированных на общей подставке. Трубки манометров наполняют подкрашенным спиртом. Общий вид прибора приводится на рис. 58.

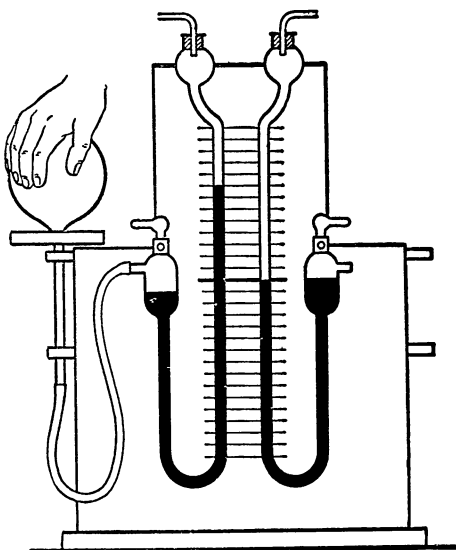


Рис. 58. Демонстрация теплового расширения воздуха при помощи термоскопа.

43. Плавающий и тонущий пловец

Две небольшие химические пробирки или две аптекарские пробирки для таблеток; резиновые пробки к ним; химический стакан (1 л); проволока; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка.

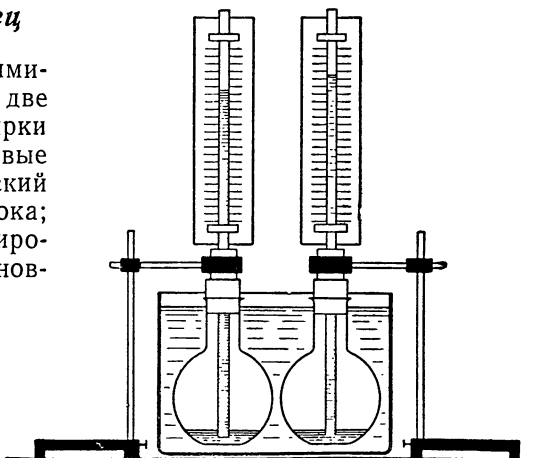


Рис. 59. Тепловое расширение различных газов.

Холодная вода для этого эксперимента наливается в большой химический стакан. Одну из небольших пробирок затыкают резиновой пробкой, предварительно наполнив водой настолько, чтобы при опускании на воду пробкой вниз она оставалась в состоянии плавучести, едва выступая из воды (рис. 60, а).

Вторую пробирку утяжеляют по ее ранту проволоочным колечком и наполняют водой настолько, чтобы опущенная в воду отверстием вниз она медленно погружалась бы до дна. Эту пробирку не затыкают пробкой.

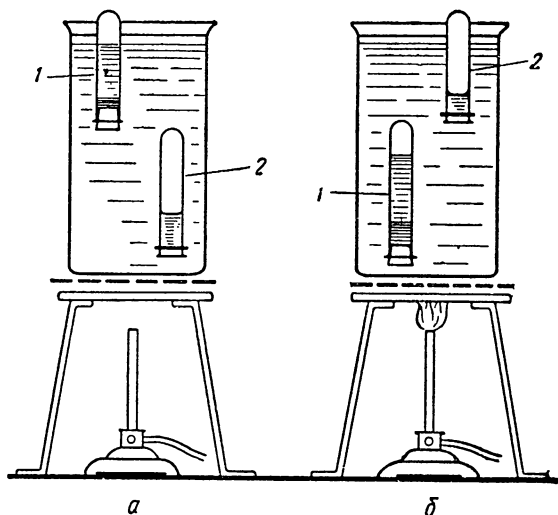


Рис. 60. Тело, плавающее в холодной воде и тонущее в горячей:

а — стакан с холодной водой; б — стакан с горячей водой; 1 — пробирка, заткнутая резиновой пробкой; 2 — открытая пробирка, частично заполненная водой и утяжеленная проволоочным кольцом.

Химический стакан с водой, в котором находятся обе пробирки, ставят на треножник и нагревают на спокойном пламени бунзеновской горелки. По мере нагревания воды пробирка, заткнутая пробкой, начинает тонуть, вторая же пробирка, наоборот, всплывает (рис. 60, б).

Пояснение

Выталкивающая сила в холодной воде, действующая на закрытую пробкой пробирку, почти точно равна весу пробирки, и поэтому пробирка плавает на самой поверхности. При нагревании воды стенки пробирки расширяются меньше, чем вода, поэтому выталкивающая сила теплой воды становится меньше веса пробирки, и пробирка тонет.

При нагревании открытой пробирки находящийся в ней воздух расширяется больше, чем вода, и, расширяясь, вытесняет часть воды из пробирки. Выталкивающая сила возрастает, и пробирка всплывает. При охлаждении воды восстанавливается начальное положение пробирок.

Примечание

См. также часть 2, «Жидкости и газы», стр. 93—94, Э-54.

44. Демонстрация аномалии теплового расширения воды при помощи дифференциального термоскопа

Дифференциальный термоскоп; большой стеклянный сосуд (3 л); проволочная мешалка; треножник; асбестированная сетка; штатив; бунзеновская горелка; лед.

Подготовка эксперимента

Большой и высокий стеклянный сосуд с водой, охлажденной льдом (см. Э-40), ставят на треножник и в воду погружают термоскоп, укрепив его в лапке штатива так, чтобы нижний баллон находился в придонном слое воды, однако не касался дна, а верхний — в толще льда. Удаляют плавающий лед. На короткое время открывают зажим на резиновой трубке, соединяющий колена манометра термоскопа, и тем самым выравнивают давление. Жидкость в обеих трубках манометра устанавливается на одном уровне (рис. 61, а, б).

Эксперимент

Воду, налитую в сосуд с погруженным в нее дифференциальным термоскопом, медленно начинают нагревать на минимально возможном пламени бунзеновской горелки. Уже через некоторое время заметно изменяется положение уровней в манометрической трубке термоскопа (рис. 61, в); это указывает на такое распределение температур, при котором более теплая вода занимает придонный слой, так как, нагретая до температуры $+4^{\circ}\text{C}$, она имеет плотность большую, чем холодная вода в верхней части сосуда. Однако при дальнейшем нагревании соотношение высот жидкости в манометрической трубке изменяется на обратное, и термоскоп указывает на иное распределение температур в толще воды: верхний слой становится теплее, чем нижний, что является следствием конвекционных потоков.

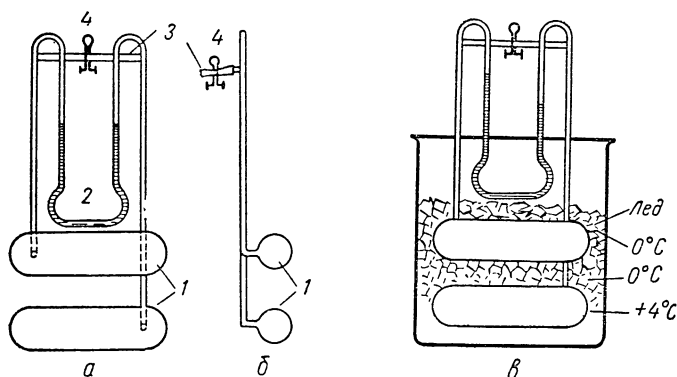


Рис. 61. Аномалия расширения воды при ее охлаждении. Дифференциальный термоскоп:

а и б — вид с лицевой стороны и боковой; *в* — термоскоп, погруженный в воду с плавающим льдом; *1* — баллоны термоскопа; *2* — манометр; *3* — резиновый шланг, соединяющий баллоны; *4* — зажим.

Примечание

Дифференциальный термоскоп представляет собой манометр, соединенный с двумя расположенными друг над другом теплоприемниками — тонкостенными, стеклянными или металлическими баллонами. Общий вид термоскопа в двух положениях приведен на рис. 61, *а* и *б*. Сосуды термоскопа наполнены воздухом, в качестве жидкости для манометра можно взять подкрашенный спирт или воду.

45. Определение температуры наибольшей плотности воды с учетом теплового расширения сосуда (1)

Две широкогорлые колбы (25 мм); две резиновые пробки (одна — с двумя, другая — с тремя отверстиями); две капиллярные трубки (внутренний \varnothing 1 мм, длина 300 мм); капиллярная трубка с раздутым в одном из концов колоколом; химический стакан (1000 мл); резиновая трубка; пружинный зажим; две полоски миллиметровой бумаги (40 мм \times 250 мм); термометр (0°C — +100°C, с ценой деления в 0,1°); кювета для проведения опытов со ртутью; мензурка; штатив; ртуть.

Предварительные замечания

Из уже описанных Э-40 и Э-44 видно, что точно установить температуру, при которой наступит максимальная плотность воды, невозможно, так как эти эксперименты проводятся в стеклянных или металлических сосудах, тепловое расширение которых влияет на получаемый результат. Полученные данные, как правило, неверны, и максимальная плотность воды наступает не точно при $+4^{\circ}\text{C}$, а при несколько более высокой температуре. Ниже описаны два способа компенсации теплового расширения сосудов.

Подготовка экспериментов

а) Компенсация при помощи ртути (рис. 62, а). Коэффициент объемного расширения стекла порядка $24 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, а ртути $180 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, то есть расширение ртути в 7,5 раз больше, чем стекла, и поэтому при компенсации теплового расширения стекла ртутью следует исходить из следующего примерного расчета: для колбы объемом 280 мл необходимо в нее поместить $280 \text{ мл} : 7,5 = 37 \text{ мл}$ ртути. Объем тонкостенной колбы можно определить заранее, заполнив колбу водой до отметки, соответствующей погружению пробки, а затем вылив воду в мензурку.

б) Компенсация при помощи пузырька воздуха (рис. 62, б). Коэффициент объемного расширения воздуха равен $3670 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, а стекла $24 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, то есть воздух расширяется в 153 раза больше, чем стекло. Расчет проводится так же, как и в первом случае: $280 \text{ мл} : 153 = 1,83 \text{ мл} \approx 2 \text{ мл}$ воздуха, то есть 2 мл воздуха компенсируют тепловое расширение колбы объемом 280 мл. Для того чтобы поместить пузырек воздуха в колбу, следует через пробку, закрывающую ее, ввести во внутреннее пространство колбы капиллярную трубку, нижний конец которой раздут в воронку (или колокол), имеющую внутреннюю полость 2 мл. На другой конец такой капиллярной трубки надевают резиновый шланг с пружинным зажимом. После наполнения колбы водой в капиллярную трубку вдувают воздух так, чтобы пузырек воздуха заполнил расширяющуюся часть трубки, после чего резиновый шланг зажимают пружинным зажимом.

Эксперимент

Большой химический стакан наполняют водой, охлажденной льдом. Лед после длительного перемешивания снимают сеточкой и охлажденную воду вливают в круглодонную колбу. Колба должна быть оснащена термометром и напорной трубкой, нижний конец которой, однако, не должен выступать внутрь колбы за нижний край пробки. В колбу, кроме того, вносится либо капля ртути (1-й вариант), либо через дополни-

тельную трубку вводится пузырек воздуха (2-й вариант). В колбу не должны попасть кусочки льда.

В напорной капиллярной трубке вода должна подняться не выше чем на 100 мл; ее избыток можно удалить прямой проволокой. На капиллярную трубку надевают полоску миллиметровой бумаги, для чего в полоске делают две двойные прорезы (рис. 62). Миллиметровая бумага служит шкалой, по которой и ведутся отсчеты уровня жидкости за время проведения эксперимента.

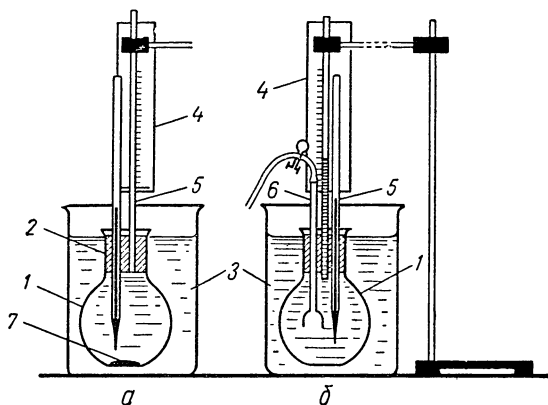


Рис 62. Определение температуры наибольшей плотности воды:

а — расширение сосуда компенсируется при помощи ртути; *б* — расширение сосуда компенсируется при помощи пузырька воздуха; 1 — колба с водой, охлажденной до 0° С; 2 — резиновая пробка; 3 — стакан с водой комнатной температуры; 4 — миллиметровая шкала; 5 — капиллярная трубка; 6 — трубка с расширением на нижнем конце для пузырька воздуха; 7 — ртуть.

Колбу погружают до уровня, соответствующего нижнему краю пробки, в воду, имеющую комнатную температуру и налитую в химический стакан, и укрепляют в лапке штатива, подложив корковые прокладки. Вода в колбе начинает нагреваться, и вместе с этим уровень ее в напорной трубке понижается, что указывает на уменьшение объема, а значит, и увеличение плотности. Положение уровня воды в капиллярной трубке записывается по мере нагревания воды на каждый градус. После того как температура воды перейдет через +4° С, уровень ее в напорной трубке повышается. Результат эксперимента необходимо представить в виде графика, нанося на горизонтальную ось температуры, а на вертикальную — высоту столба воды в напорной трубке.

Примечание

Так как эксперимент занимает длительное время, следует всю подготовку сделать заранее так, чтобы во время урока фиксировать только положения уровня в капиллярной трубке. Это позволит учащимся в пределах академического часа не только наблюдать эксперимент, но и оформить его результаты.

46. Тепловое расширение газов. Демонстрация при помощи термоскопа

Двойной термоскоп; две одинаковые пробирки к ним с отверстиями; две стеклянные трубки (длина 100 мм); химический стакан (800 мл); треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; светильный газ; углекислый газ.

Подготовка эксперимента

Две одинаковые пробирки заполняют газами: одну — светильным городским газом, другую — углекислым газом. Пробирки затыкают резиновыми пробками со вставленными в них стеклянными трубками. При помощи резинового шланга трубки, выступающие из пробирок, соединяют с кранами двойного

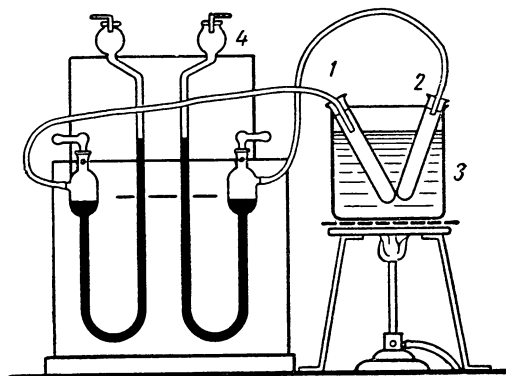


Рис. 63. Сравнение объемного расширения газов:
1 — пробирка, наполненная воздухом; 2 — пробирка, наполненная светильным или другим газом; 3 — стакан с водой; 4 — термоскоп.

термоскопа. Обе пробирки вместе погружают в водяную баню — химический стакан, наполненный водой. На короткое время краны термоскопа приоткрывают, чтобы выровнять давление в манометрических трубках (рис. 63).

Наполнение пробирок газом не вызывает затруднений. Зная, что светильный городской газ легче воздуха, достаточно пробирку поддержать отверстием вниз над газовым краном, и она наполнится газом. Не закрывая крана газопровода, следует пробирку, держа ее по-прежнему вертикально, заткнуть резиновой пробкой со вставленной стеклянной трубкой.

Углекислый газ тяжелее воздуха, и поэтому достаточно резиновый шланг, идущий от аппарата Киппа, погрузить внутрь пробирки, расположенной отверстием вверх, и углекислый газ сам вытеснит воздух из пробирки, которую тотчас нужно заткнуть резиновой пробкой со стеклянной трубкой.

Эксперимент

Нагревая воду, налитую в химический стакан, в котором плавают помещенные в него обе пробирки, тем самым нагревают и находящиеся в пробирках газы. Уже через некоторое время нетрудно заметить, что столбики жидкости в обоих манометрах совершенно одинаково изменяют свое положение. Этот эксперимент позволяет утверждать, что коэффициенты теплового объемного расширения газов одинаковы.

Примечание

Вместо светильного городского и углекислого газа можно взять другие газы, а одну из пробирок оставить заполненной даже воздухом.

47. Определение коэффициента объемного расширения жидкости при помощи измерительной колбы

Калиброванная измерительная колба (250 мл) с цилиндрическим горлом; цилиндрическая мензурка (50 мл); химический стакан (1000 мл); масштабная линейка; термометр (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); проволоочная мешалка; треножник; асбестированная сетка; высокий штатив; бунзеновская горелка; спирт денатурированный; бензол; глицерин.

Подготовка эксперимента

Калиброванную измерительную колбу наполняют до отметки водой, имеющей температуру 20° , и погружают до половины высоты ее горлышка в водяную ванну, в которой на небольшом пламени горелки поддерживается температура также

20°. Колбу укрепляют в лапке штатива (рис. 64). Затем в колбу доливают выше отметки еще 20 мл воды с температурой 20° и при помощи масштабной линейки определяют высоту столбика долитой воды в горлышке. Предположим, что при приливании 20 мл высота столбика составляет 96 мм, следовательно, при поднятии уровня на 1 мм объем воды увеличивается на 0,2 мл.

Эксперимент

Воду выливают и заменяют исследуемой жидкостью. Уровень налитой жидкости, например спирта, должен быть точно на отметке, нанесенной на горлышко колбы. Увеличив несколько пламя горелки, повышают температуру воды в водяной ванне, а следовательно, и температуру жидкости в колбе. По мере нагревания объем жидкости увеличивается. При помощи масштабной линейки вновь измеряют высоту столба жидкости над отметкой. По термометру, опущенному в водяную ванну, измеряют температуру, при которой произведено измерение высоты столбика жидкости, и производят соответствующие расчеты для определения коэффициента объемного расширения.

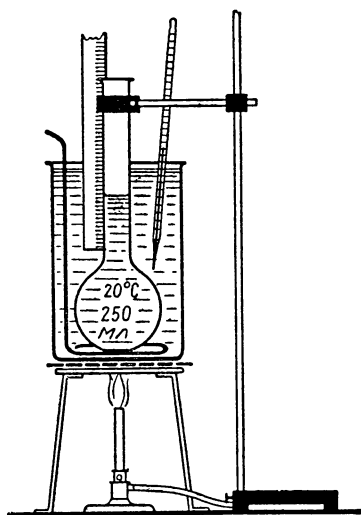


Рис. 64. Определение коэффициента объемного расширения жидкости при помощи измерительной колбы.

Расчет

Определив высоту поднятия в результате теплового расширения спирта в горле измерительной колбы и зная прирост объема на каждый миллиметр подъема уровня, нетрудно рассчитать общий прирост объема спирта (ΔV). Спирт или другая жидкость, с которой проводится эксперимент, при начальной температуре $t_1 = 20^\circ \text{C}$ занимали объем, соответствующий вместимости измерительной колбы до нанесенной отметки $V_1 = 250 \text{ мл}$. При нагревании до некоторой температуры t_2 объем жидкости возрос на ΔV и стал равен V_2 . Однако если учесть прирост объема сосуда, то можно составить следующее уравнение:

$$V_2 = V_1 [1 + (\alpha - 3\beta) (t_2^\circ - t_1^\circ)],$$

где α — коэффициент объемного расширения исследуемой жидкости, β — коэффициент линейного расширения стекла; но

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_1 (\alpha - 3\beta) (t_2^\circ - t_1^\circ),$$

и тогда

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_2 \Delta t^\circ} - 3\beta.$$

**48. Определение коэффициента
объемного расширения газа
в изобарическом процессе
при помощи
горизонтально расположенной
трубки с каплей ртути**

Круглодонная колба (250 мл); резиновая пробка к ней; прямоугольно изогнутая стеклянная трубка (внутр. $\varnothing = 3$ мм, длина одного колена 150 мм, другого 850 мм); химический стакан (1000 мл); термоизолирующая подставка; проволоочная мешалка; масштабная линейка (длина 1000 мм); измерительная пипетка (на 5 мл с ценой деления в 0,1 мл); сифон; мензурка (250 мл); термометр ($0^\circ\text{C} - +100^\circ\text{C}$, с ценой деления в 1°); два штатива, на лапках одного из них корковые прокладки; аппарат Киппа; мрамор; цинк; соляная кислота; углекислый газ; водород; кислород; городской светильный газ; перманганат калия.

Подготовка эксперимента

Короткое колено прямоугольно изогнутой стеклянной трубки, на которое насажена резиновая трубка, вводят в горло круглодонной колбы. Длинное колено трубки укрепляют в лапке штатива так, чтобы оно располагалось горизонтально. Плотнo вставив пробку, по нижнему ее краю наносят на горле колбы штрих — отметку. При помощи пипетки в длинное колено трубки вводят небольшой столбик подкрашенной воды или ртути. Горизонтальное положение длинного колена обеспечивает постоянство давления на все время проведения эксперимента. Над горизонтальным коленом в лапке второго штатива укрепляют длинную масштабную линейку (рис. 65).

Эксперимент

В начале эксперимента колбу полностью погружают в воду, налитую в химический стакан, и через некоторое время измеряют температуру воды, а значит, и воздуха, находящегося в кол-

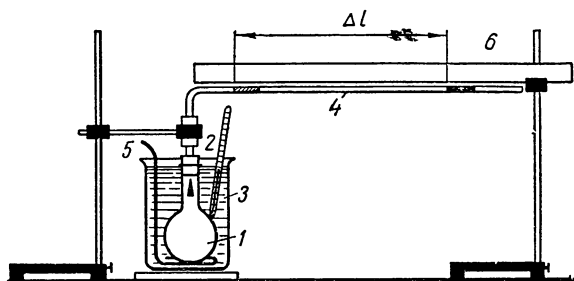


Рис. 65. Определение коэффициента объемного расширения газов при изобарическом процессе:

1 — колба, наполненная газом; 2 — резиновая пробка; 3 — стакан с водой; 4 — прямоугольно изогнутая трубка с каплей ртути; 5 — мешалка; 6 — миллиметровая линейка, укрепляемая горизонтально над трубкой.

бе, t°_1 . По масштабной линейке определяют положение обращенного к колбе края столбика подкрашенной воды или ртути, введенной в длинное горизонтальное колено. При помощи сифона из химического стакана отливают примерно половину воды и заменяют ее более теплой, нагретой на несколько градусов выше, чем температура ранее налитой воды. Воду тщательно перемешивают и определяют ее новую температуру t°_2 . По масштабной линейке определяется новое положение того же края столбика подкрашенной воды в горизонтальном колене и находят его смещение,

Расчет

Прежде чем производить расчет, необходимо определить, каков прирост объема газа при перемещении столбика жидкости в горизонтальном колене на каждый миллиметр его длины, то есть определить коэффициент вместимости трубки $E = V : l$ в $\text{мл} \cdot \text{мм}^{-1}$. Для нахождения этого коэффициента из измерительной пипетки в трубку вводят определенное количество воды и при помощи масштабной линейки определяют длину образовавшегося в трубке столбика l . Это определение производится либо до сборки установки, либо после проведения эксперимента.

Коэффициент объемного расширения газов определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} = \frac{\Delta l E}{V_0 (t_2^\circ - t_1^\circ)}.$$

Для определения объема воздуха или газа в колбе (V_0) следует после проведения эксперимента наполнить колбу до нанесенной на ее горлышко отметки водой и затем при помощи мензурки измерить объем налитой воды, что и будет соответствовать объему воздуха или газа.

При достаточной тщательности проведения эксперимента значение коэффициента объемного расширения близко к табличному ($\alpha = 0,00367 \text{ град}^{-1}$, или $1:273 \text{ град}^{-1}$).

Примечания

1. На подобной установке может быть определен коэффициент объемного расширения целого ряда газов: воздуха, углекислого газа, водорода, кислорода, городского светильного газа. Сравнивая результаты экспериментов, учащиеся сами придут к выводу, что коэффициенты объемного расширения всех исследуемых газов одни и те же (закон Гей-Люссака). (*Прим. перев.*)

2. Эксперимент может быть проведен и в порядке лабораторной работы, при этом желательно, чтобы группы учащихся работали с различными газами, и на результате проведенных экспериментов, сопоставляя данные, был сделан обобщающий вывод.

3. Изготовление сифона (см. часть 2, стр. 124—132).

4. Получение углекислого газа и водорода (см. часть 2, стр. 236—237, где дано и описание соответствующей аппаратуры).

49. Определение коэффициента объемного расширения газа при помощи жидкостного манометра

Круглодонная колба (250 мл); резиновая пробка со вставленным в нее трехходовым стеклянным краном; химический стакан (1000 мл); прямоугольно изогнутая стеклянная трубка ($\varnothing 4 \text{ мм}$, длина короткого колена 50 мм, длинного 200 мм); прямая стеклянная трубка ($\varnothing 4 \text{ мм}$, длина 600 мм); два резиновых шланга (соответственно длиной в 150 мм и 600 мм); термометр ($0^\circ\text{C} - +100^\circ\text{C}$, с ценой деления в 1°); проволоочная мешалка; сифон; масштабная линейка (длина 1000 мм); пружинный зажим; измерительная пипетка (5 мл, с це-

ной деления в 0,5 мл); асбестированная сетка; треножник; бунзеновская горелка; штатив с длинной штангой; аппарат Киппа; прибор для получения кислорода; прибор для получения окиси азота; мрамор; цинк; соляная кислота; перманганат калия; углекислый газ; светильный городской газ; водород; кислород; азот.

Подготовка эксперимента

До сборки установки производят калибровку прямоугольно изогнутой трубки, как это указано в Э-48, и находят коэффициент вместимости.

Произведя калибровку трубки, собирают открытый манометр. При помощи длинного резинового шланга соединяют длинный конец прямоугольно изогнутой трубки с длинной прямой трубкой; обе трубки закрепляют рядом в лапке штатива и наполняют подкрашенной водой так, чтобы ее уровень был на 50—60 мм выше края, соединяющего стеклянные трубки резинового шланга.

На треножнике или на кольце штатива устанавливают химический стакан, наполовину наполненный водой, в которую и погружают круглодонную колбу с исследуемым газом (воздух, углекислый газ, кислород, водород, азот или др.) Колбу затыкают резиновой пробкой с трехходовым краном. На горлышко колбы наносят штрих против нижнего края резиновой трубки. Коротким резиновым шлангом один из отводов трехходового крана соединяют с коротким коленом прямоугольно изогнутой трубки и на короткое время приоткрывают кран, при этом жидкость в манометре устанавливается на одном уровне. Общий вид установки изображен на рис. 66. Химический стакан должен быть поставлен на асбестированную сетку.

Эксперимент

Химический стакан наполняют водой, имеющей температуру несколько выше комнатной, и только через некоторое время измеряют температуру воды, а значит, и температуру газа в колбе t°_1 . После этого на очень короткое время открывают трехходовой кран. Тем самым и в колбе и в манометре устанавливается общее давление, равное атмосферному. Закрыв кран, измеряют высоту уровня жидкости в манометрических трубках относительно поверхности лабораторного стола (h_1 на рис. 66, а).

Из стакана выливают при помощи сифона примерно половину воды и заменяют ее более теплой, на 8—10° выше комнатной. Через некоторое время измеряют температуру налитой воды и тем самым новую температуру газа в колбе t°_2 , а при

помощи масштабной линейки измеряют новые высоты столбов жидкости в манометрических трубках и по разности высот определяют прирост высоты в одном из колен и опускание жидкости в другом колене (рис. 66, б). Вместо приливания теплой воды можно подогреть воду в стакане на $8-10^\circ$ на небольшом пламени бунзеновской горелки, но в этом случае воду следует тщательно перемешивать проволоочной мешалкой.

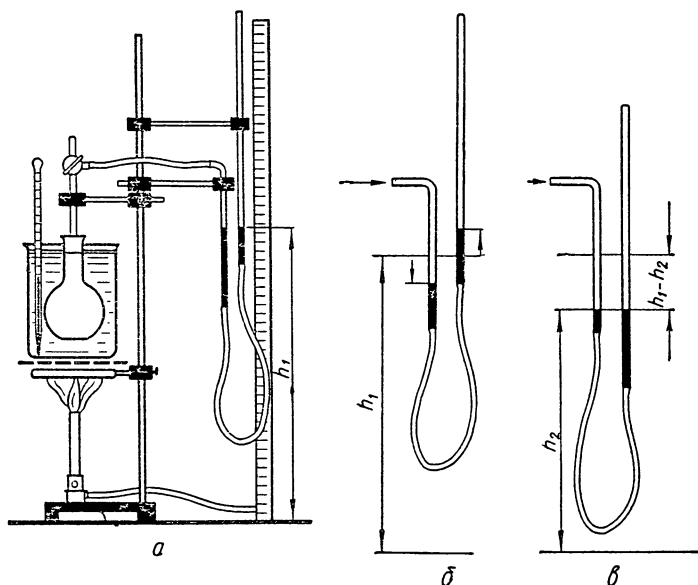


Рис. 66. Определение коэффициента объемного расширения газов манометрическим методом:

а — общий вид установки и первоначальное положение уровня в трубках; *б* — уровень жидкости в трубках после нагревания; *в* — выравнивание уровня жидкости путем опускания манометрической трубки; h_1 — высота столба жидкости в манометрической и градуированной изогнутой трубках до нагревания; h_2 — высота уровня жидкости после нагревания и выравнивания давления; $h_1 - h_2$ — повышение уровня жидкости.

Поддерживая при помощи бунзеновской горелки достигнутую температуру воды приблизительно постоянной, прямое колено манометра опускают несколько ниже, так, чтобы уровень воды в обоих коленях был снова на одной высоте (рис. 66, в). Затем измеряют высоту нового уровня жидкости относительно поверхности лабораторного стола (h_2). По разности начальной и конечной высот уровня в манометрической трубке находят прирост объема газа, а зная коэффициент вместимости прямоугольно изогнутой трубки, можно найти и коэффициент объемного расширения газа.

Для выполнения расчета необходимо знать начальный объем газа. Чтобы определить его, следует измерить при помощи мензурки вместимость колбы, наполняя ее водой до нанесенной на горлышке отметки.

Расчет

Определение прироста объема газа в результате теплового расширения по разности высот жидкости в манометрических трубках проводится по формуле:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = (h_2 - h_1) E;$$

при этом прирост объема будет выражен в мл. Прирост температуры Δt° соответствует разности температур холодной и теплой воды, налитой в химический стакан.

Коэффициент объемного расширения для неизменной массы газа при постоянном давлении может быть определен согласно закону Гей-Люссака по формуле:

$$\alpha = \frac{(h_2 - h_1) E}{V_0 (t_2^\circ - t_1^\circ)} = \frac{\Delta h E}{V_0 \cdot \Delta t^\circ}.$$

Примечание

См. примечание к Э-48.

50. Определение термического коэффициента давления газа в изохорическом процессе при помощи жидкостного манометра

Приборы все те же, что и для Э-49; дополнительно: ртутный барометр и резиновое колечко.

Подготовка эксперимента

Все предварительные измерения, калибровка прямоугольно изогнутой трубки и сборка установки те же, что и в Э-49, однако начало эксперимента иное. Выровняв уровни в манометрических трубках, на прямоугольно изогнутую трубку на высоте уровня жидкости в ней надевают резиновое колечко (рис. 67, а). Резиновое колечко можно изготовить из резинового шланга, отрезав очень короткий кусочек.

Эксперимент

Для того чтобы исследовать изменение давления газа и определить термический коэффициент давления γ при неизменном объеме, следует после теплового расширения газа в колбе и соответствующего понижения уровня подкрашенной жидко-

сти в прямоугольно изогнутой трубке (рис. 67, б) поднять прямую трубку открытого манометра настолько, чтобы уровень подкрашенной жидкости в прямоугольной трубке установился против резинового колечка (рис. 67, в). В этом случае газ, находящийся в колбе, примет начальный объем. Но при таком положении в прямой манометрической трубке уровень подкрашенной жидкости будет стоять значительно выше, чем в прямоугольно изогнутой трубке. При помощи большой масштабной линейки необходимо измерить высоту резинового колечка относительно поверхности стола h_1 и высоту уровня жидкости в прямой манометрической трубке h_2 . По разности высот можно найти прирост давления Δh .

Следует пересчитать это избыточное давление в торры (мм рт. ст.). Для этого следует произвести расчет по формуле:

$$\Delta h \text{ (в торрах)} = \frac{\Delta h \text{ (в мм водяного столба)}}{13,6}.$$

Расчет

Определение термического коэффициента давления для неизменной массы газа при постоянном объеме (закон Шарля) производится по формуле:

$$\gamma = \frac{h_2 - h_1}{h_1 \Delta t^\circ} = \frac{\Delta h}{h_1 \Delta t^\circ}.$$

Величина начального давления газа соответствует атмосферному давлению и измеряется при помощи барометра.

Примечания

1. Подобным же методом следует провести определение термического коэффициента

давления самых различных газов, и эти работы целесообразно провести в порядке лабораторных.

2. См. примечание к Э-48.

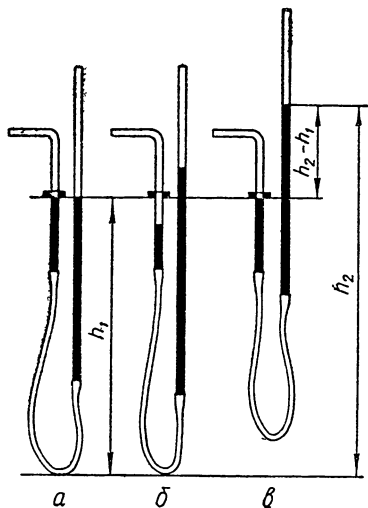


Рис. 67. Определение коэффициента термического расширения газов в изохорическом процессе (общий вид установки см. на рис. 66):

а — первоначальное положение уровней в градуированной изогнутой и манометрической трубках; б — положение уровней жидкости после нагревания; в — положение уровней жидкости после выравнивания объема; h_1 — высота уровня жидкости в манометрической трубке до нагревания; h_2 — высота уровня жидкости после нагревания.

51. Определение коэффициента объемного расширения ртути методом взвешивания (1)

Пикнометр с пробкой, имеющей капилляр (25 мл); аналитические или технические весы; разновесы к ним; химический стакан (800 мл); термометр (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); проволоочная мешалка; кювета для проведения экспериментов с ртутью; треножник; асбестированная сетка; бунзен-овская горелка; фильтровальная бумага; мелкая свинцовая дробь; ртуть; глицерин.

Весь эксперимент проводят на кювете, предназначенной для проведения опытов с ртутью.

Пикнометр уравнивают на достаточно точных весах при помощи мелкой свинцовой дроби и полностью наполняют ртутью. Записывают комнатную температуру t_1° , которая в то же время является температурой ртути и пикнометра. Пикнометр закрывают пробкой с капиллярным каналом, давая вытечь вытесненной пробкой ртути. Взвешиванием определяют массу налитой в пикнометр ртути m_1 , и после этого его помещают в водяную ванну (рис. 68). На небольшом пламени бунзеновской горелки подогревают воду и тем самым ртуть, налитую в пикнометр, до температуры, близкой к 80°C . В результате теплового расширения ртути какая-то ее часть выльется из пикнометра через капилляр пробки в химический стакан. Записывают конечную температуру нагревания ртути.

Пикнометр извлекают из воды, дают ему остыть до комнатной температуры и, обсушив тщательно фильтровальной бумагой, новым взвешиванием определяют массу оставшейся в пикнометре ртути m_2 .

Коэффициент объемного расширения ртути α находят по формуле:

$$\alpha = \frac{m_1 - m_2}{m_2(t_2^{\circ} - t_1^{\circ})} + 3\alpha_1 \frac{m_1}{m_2},$$

где α_1 — коэффициент объемного расширения стекла.

Пример

Начальная температура ртути $t_2^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$.

Масса ртути при 20°C $m_1 = 340$ г.

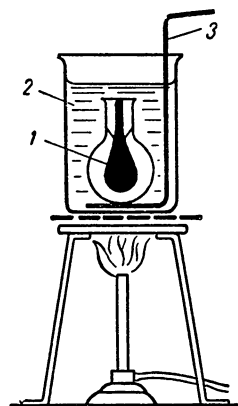


Рис. 68. Определение коэффициента объемного расширения ртути:

1 — пикнометр, наполненный ртутью; 2 — стакан с водой; 3 — проволоочная петля для извлечения пикнометра.

Конечная температура ртути $t_2^\circ = 84^\circ\text{C}$.

Масса ртути, оставшейся в пикнометре после нагревания, $m_2 = 336,6$ г.

Коэффициент объемного расширения стекла $\alpha_1 = 24 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$.

$$\alpha = \frac{340 \text{ г} - 336,6 \text{ г}}{336,6 \text{ г}(84^\circ - 20^\circ)} + 0,000024 \text{ град}^{-1} \frac{340 \text{ г}}{336,6 \text{ г}} = \frac{3,4}{336,6 \cdot 64} \text{ град}^{-1} + \\ + 0,000024 \cdot 1,01 \text{ град}^{-1} \approx$$

$$\approx 0,000158 \text{ град}^{-1} + 0,000024 \text{ град}^{-1} \approx 0,000182 \text{ град}^{-1}.$$

ГЛАВА IV

ПЛАВЛЕНИЕ И ЗАТВЕРДЕВАНИЕ

§ 8. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА

То, что твердые тела при повышении температуры могут плавиться, а жидкости при охлаждении — затвердевать, известно учащимся из наблюдения за таянием льда и замерзанием воды. Но то, что для любого кристаллического тела температура, при которой эти процессы происходят, постоянна и для каждого вещества совершенно определена, требует опытного подтверждения. Вот почему первые два эксперимента этого раздела, Э-52 и Э-53, позволяют подвести учащихся к понятиям точки, или температуры, плавления и точки, или температуры, затвердевания.

В старших классах средней школы надо найти время и место, чтобы показать учащимся, что определенная температура плавления и затвердевания характерна только для кристаллических веществ, что тела аморфные, например стекло, фактически не плавятся, а лишь размягчаются и что у них нет постоянной точки плавления, а следовательно, и нет затраты энергии на сам процесс разрушения кристаллов — на разрыв структурной связи в них, а ведь именно к этому и сводится процесс плавления.

Задача экспериментов 54 и 55 — показать учащимся, что температура плавления сплава двух или нескольких металлов ниже температуры плавления каждого из них. В качестве примера взят сплав свинца и олова. Так как наблюдение за температурой плавления таких металлов, как олово ($t_{\text{пл}}^{\circ} = 232^{\circ}\text{C}$) и свинец ($t_{\text{пл}}^{\circ} = 327^{\circ}\text{C}$), при помощи ртутного термометра затруднено, то в экспериментах применяются термопара и демонстрационный гальванометр, показания которого видны всей аудитории. При применении термопары и гальванометра нет надобности в пересчете их шкалы в градусы Цельсия, так как в задачу эксперимента не входит определение соответствующих температур. Достаточно лишь показать, что отклонение стрелки гальванометра при плавлении сплава меньше, чем при плавлении каждого из металлов в отдельности. В Э-56 дается калориметрический метод определения удельной теплоты плавления. Экспери-

мент рассчитан на проведение его на старшей ступени обучения в порядке лабораторной работы.

Расширению воды при ее затвердевании посвящен Э-57, и ему противопоставлен Э-58, показывающий учащимся уменьшение объема стеарина при его затвердевании; следует также продемонстрировать значительную силу, возникающую при затвердевании воды на широко известном опыте (и поэтому мы опускаем его описание) с чугунной бомбой, наполненной водой и погруженной в охлаждающую смесь.

Целый ряд экспериментов (Э-59—Э-64) предназначен для демонстрации теплоты кристаллизации и теплоты растворения. В Э-59 используется переохлажденный раствор тиосульфата натрия. В Э-60 показывается затрата теплоты при растворении в воде солей. Охлаждение смесей и их действия демонстрируются в Э-60; там же приводится таблица таких смесей. Регеляцию* воды можно показать, проводя эксперимент 62. Моделирование термометра низких температур дано в Э-63. И, наконец, в Э-64 дано определение точки затвердевания солевых растворов. Последнее имеет большое значение в экспериментальной химии при определении молекулярного веса раствора. Практическое значение эксперимента, несомненно, вызовет у учащихся повышенный интерес к нему, и его следует провести в порядке лабораторной работы.

В § 10 даны эксперименты, позволяющие в школьных условиях, при помощи простейших приемов и самодельных приборов, показать технологию процесса формовки металла, то есть такие процессы, при которых не применяются станки, снимающие стружку, что уменьшает затрату рабочей силы и потерю металла. Так как ковку, литье и формовку металла учащиеся школ до достижения совершеннолетия не проводят при прохождении производственной практики, то преподаватель должен ознакомить учащихся с основами этих производственных процессов путем демонстрации соответствующих экспериментов. Само собой ясно, что все эти технологические процессы в условиях школы должны проводиться на моделях, по возможности приближенных к производственным. В Э-65 демонстрируется сварка металла путемковки; в эксперименте такую сварку показывают ковкой двух толстых гвоздей, разогретых до температуры, близкой к размягчению металла. Наковальню можно заменить массивным куском стали, а молот — тяжелым молотком, увеличив силу удара за счет большего размаха. В экспериментах по литью металлов в земляных формах следует применять легкоплавкие сплавы, доступные школе, или свинец. Изготовление соответствующих моделей должно быть выполнено уча-

* *Регеляция* от лат. *regelar* — таять и снова смерзаться. (Прим. перев.)

щимися, а сам эксперимент также с удовольствием будет выполнен в порядке лабораторной работы. Несколько большие трудности составляет подготовка к проведению эксперимента 68, где для литья нужна готовая форма — кокиль. Однако все затраты времени и средств компенсируются чувством удовлетворения от проведения этого эксперимента как у учащегося, так и у учителя, и особенно потому, что в этом эксперименте учащиеся знакомятся с современным способом литья, и именно здесь следует рассмотреть как самый процесс литья, так и труд литейщика.

§ 9. ТОЧКА ПЛАВЛЕНИЯ. ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ. АНОМАЛИЯ ВОДЫ

52. Определение точки плавления тиосульфата натрия (гипосульфита)

Пробирка (\varnothing 16 мм, длина 160 мм); химический стакан (550 мл); проволоочная мешалка; термометр (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; штатив; тиосульфат натрия; нафталин.

Пробирку наполовину наполняют мелкокристаллическим тиосульфатом натрия и погружают в воду, налитую в химический стакан. Химический стакан ставят на треножник, подложив асбестированную сетку. После этого пробирку укрепляют в лапке штатива. В воду опускают термометр, подвешенный к штативу.

На пламени бунзеновской горелки начинают нагревать воду, непрерывно помешивая мешалкой и наблюдая за повышением температуры (рис. 69). Как только кристаллы тиосульфата начнут плавиться и на дне пробирки появится жидкая фаза тиосульфата, измеряют температуру воды, а следовательно, и температуру, или точку, плавления тиосульфата. Обычно эта температура близка к 48°C . Дальнейшее нагревание прекращают.

Примечания

1. Раствор тиосульфата и остаток кристаллов следует тотчас после прекращения нагревания вылить из пробирки, в противном случае тиосульфат затвердеет и пробирка может лопнуть.

2. Подобный эксперимент можно произвести с нафталином ($t_{\text{пл}} = 72^{\circ}\text{C}$), азотнокислым аммонием ($t_{\text{пл}} = 169,9^{\circ}\text{C}$), азотнокислым калием ($t_{\text{пл}} = 336^{\circ}\text{C}$) или азотнокислым на-

трием ($t_{пл} = 308^{\circ}\text{C}$). Для последних трех веществ, совершенно очевидно, водяная баня недостаточна, плавление их следует проводить в тиглях, а измерение температуры — при помощи термопары, присоединенной к гальванометру со шкалой, разбитой на градусы Цельсия.

3. Тиосульфат натрия, или серноватистокислый натрий (Na_2SO_3), ошибочно называют гипосульфитом. (Прим. перев.)

53. Определение температуры плавления и затвердевания стеарина

Химический стакан (550 мл); небольшой грузик с крючком (15 н); пробирка; проволоочная мешалка; термометр ($0^{\circ} — +100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); нитки; асбестированная сетка; треножник; штатив; бунзеновская горелка; стеариновая свеча; стеарин.

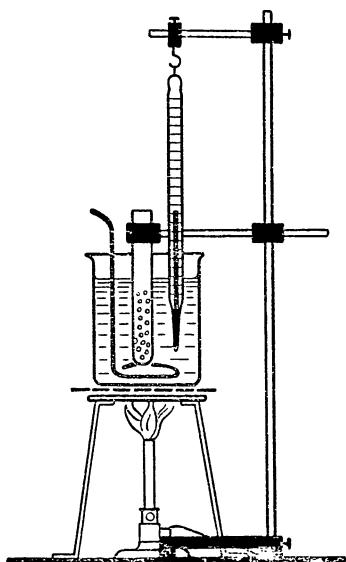


Рис. 69. Определение точки плавления тиосульфата натрия.

ную таким образом стеариновую свечу опускают плавать в воду, налитую в химический стакан. Стакан помещают на треножник, подложив асбестированную сетку. Свеча должна быть полностью погружена в воду. В воду помещают также термометр и проволоочную мешалку (рис. 70).

Воду, непрерывно помешивая, нагревают на пламени бунзеновской горелки, измеряя ее температуру, которая явится и температурой поверхностных слоев стеарина. Как только стеариновая свеча начнет оплавляться и капли стеарина — всплывать на поверхность воды, следует измерить температуру, которая и явится температурой плавления. Она близка к 50°C .

2. В химический стакан, наполненный водой, погружают укрепленную в лапке штатива пробирку с мелко крошенным стеарином, а также термометр и проволоочную мешалку. Химический стакан, подложив асбестированную сетку, ставят на треножник (рис. 71).

Воду нагревают до полного расплавления стеарина, после чего гасят бунзеновскую горелку. Температура воды, а следовательно, и расплавленного стеарина начинает постепенно понижаться. Воду следует тщательно перемешивать, чтобы во всех ее слоях была достаточно одинаковая температура. Наблюдая за показаниями термометра, определяют ту температуру, при которой на внутренних стенках пробирки начнет образовываться белесый слой твердого стеарина. Это произойдет при температуре, близкой к 50°C . Сопоставляя первую и вторую части эксперимента, учащиеся приходят к выводу, что точки плавления и затвердевания стеарина почти совпадают.

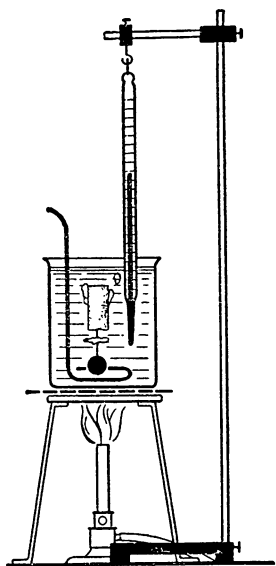


Рис. 70. Определение точки плавления стеарина.

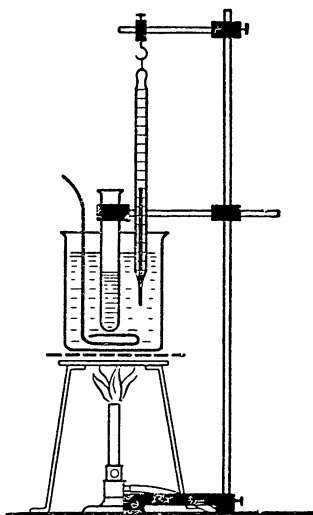


Рис. 71. Определение точки затвердевания стеарина.

Примечание

Для ознакомления учащихся с точками плавления ряда веществ целесообразно во время занятий вывесить таблицу соответствующих значений этой величины.

54. Сравнение точек плавления свинца и олова с точкой плавления их сплава (1)

Термопара; зеркальный гальванометр, соединительные провода; изолирующая планка с двумя клеммами; делитель напряжения с плавной регулировкой (25 ом) или ползунковый реостат (110 ом); ложечка для плавления металла (емкость 50 мл); бунзеновская горелка; плоский сосуд из обожженной глины (поддонник цветочного горшка); два штатива; свинец в гранулах или в виде порошка (75 г); олово в граммах или порошке (75 г).

Подготовка эксперимента

Термоэлемент присоединяют к зеркальному гальванометру. В цепь вводят по приводимой схеме делитель напряжения с плавной регулировкой или ползунковый реостат (рис. 72).

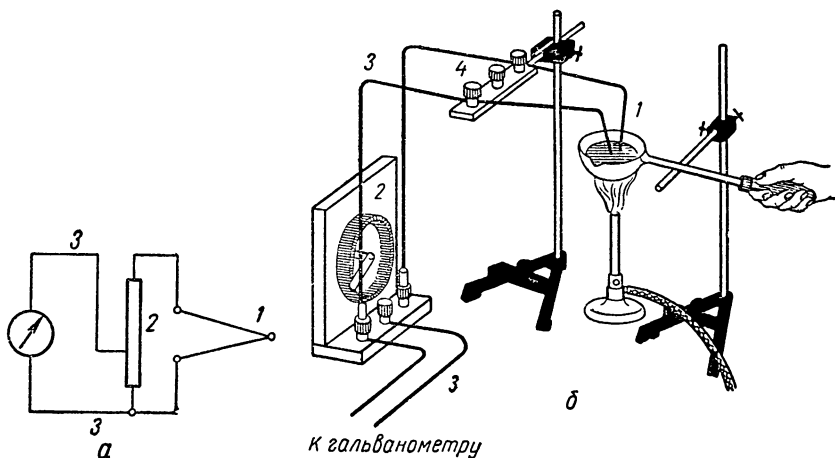


Рис. 72. Определение точки плавления легкоплавких металлов и их сплавов: а — схема включения термопары; б — общий вид установки; 1 — термопара; 2 — делитель напряжения; 3 — соединительные провода; 4 — изолирующая планка с контактными винтами.

Провода, идущие от термопары, присоединяют к клеммам изолирующей планки, укрепленной в лапке штатива. К тем же клеммам идут провода от делителя напряжения. Термопару следует расположить так, чтобы место спая ее проволок можно было бы погрузить в ложечку с расплавленным металлом.

Ложечка с металлом, предназначенным для плавки, должна быть закреплена в горизонтальном положении с помощью лапки штатива. В таком положении она и вводится в пламя

бунзеновской горелки. Разогревание металла требует значительного времени, и это следует учесть, подготавливая эксперимент.

Эксперимент

Часть 1. В ложечку для плавки металла (в данном эксперименте она может быть железной) насыпают 50 г свинца. На пламени бунзеновской горелки свинец расплавляют. После того как свинец полностью расплавится, бунзеновскую горелку отставляют. В расплавленный свинец погружают спай термопары и при помощи делителя напряжения подбирают такой ток, при котором указатель зеркального гальванометра имеет наибольшее отклонение. При затвердевании свинца спай термопары оставляют в толще свинца. Повторно разогревают свинец до полного расплавления и записывают показание гальванометра. Затем вновь дают свинцу застыть и также записывают показания гальванометра в момент затвердевания. Этот процесс повторяют не менее пяти раз, определяя среднее значение показаний прибора, после чего свинец расплавляют и выливают в плоский сосуд из обожженной глины.

Таким же образом проводят эксперимент по наблюдению за точкой плавления олова, не изменяя положения ручки делителя напряжения (потенциометра). На основании наблюдения устанавливают, что точка плавления олова лежит ниже точки плавления свинца.

Часть 2. В ложечку для плавления насыпают по равному количеству свинца и олова, например по 25 г, и смесь расплавляют на пламени бунзеновской горелки. Сплав хорошо перемешивают достаточно длительным покачиванием ложечки. Проводя многократное наблюдение за затвердеванием и расплавлением сплава, устанавливают среднее значение показаний гальванометра. Эксперимент позволяет сделать убедительный вывод, что точка плавления сплава металлов, в нашем случае свинца и олова, лежит значительно ниже точек плавления каждого из металлов.

Примечания

1. В этом эксперименте может быть использован не только готовый термоэлемент, но и самодельный из железной и константановой проволоки, описанный в Э-8.

2. Для проведения эксперимента следует взять химически чистые свинец и олово, так как техническое олово представляет собой сплав металла с целым рядом примесей.

3. Для более точного определения точек плавления и затвердевания металлов целесообразно ложечку с расплавленным металлом слегка покачивать.

4. Результат эксперимента более показателен и точен, если при его проведении используется термоэлемент с двумя местами спая, описанный в Э-9. В этом случае один из спаев опускается в лед, помещенный в сосуд Дьюара.

5. Целесообразно учащихся ознакомить с рядом легкоплавких сплавов, для чего в учебном помещении может быть вывешена таблица.

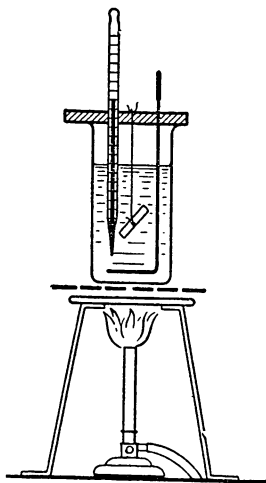


Рис. 73. Определение температуры плавления легкоплавких сплавов.

55. Определение точки плавления легкоплавких сплавов

Два-три различных легкоплавких сплава (по 50 г); химический стакан (550 мл); термометр ($0^{\circ} — +100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); треножник; асбестированная сетка; стеклянная палочка; нитки; проволоочная мешалка; горелка.

Подвесив кусок легкоплавкого сплава на нитке к стеклянной палочке, сплав погружают в воду, налитую в химический стакан (рис. 73). Воду нагревают на пламени бунзеновской горелки. По термометру, опущенному в воду, определяют температуру, при которой сплав начнет плавиться и его капли станут падать на дно стакана. Воду целесообразно все время перемешивать.

56. Определение удельной теплоты плавления льда калориметрическим методом

Коническая колба (100 мл); калориметр или сосуд Дьюара (350 мл); рычажные весы с разновесками; термометр ($-10^{\circ}\text{C} — +50^{\circ}\text{C}$); мензурка; секундомер; проволоочная мешалка; термоизолирующая подставка; фильтровальная бумага; лед.

Предварительный эксперимент

Целесообразно этот эксперимент провести в порядке фронтальной работы, так как он позволяет показать необходимость затраты энергии на разрушение кристаллической связи в твердых телах.

Толченым льдом наполняют на одну треть коническую колбу и в лед погружают термометр. Поместив колбу на тренож-

ник, ее прогревают на небольшом пламени горелки. Через каждые две минуты следует производить измерение температуры, непрерывно помешивая лед. Данные эксперимента позволяют установить, что все время, пока в колбе остается лед, темпера-

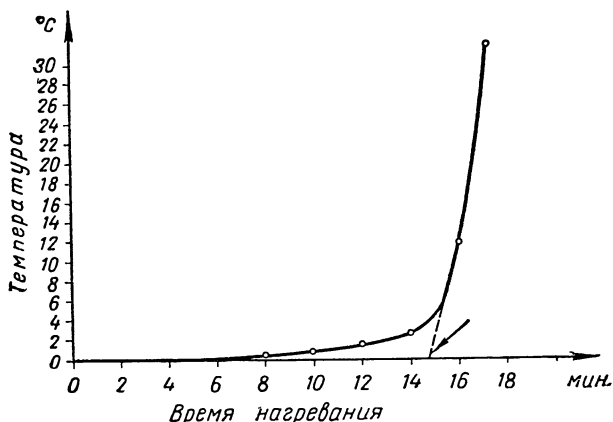


Рис. 74. График зависимости температуры воды от времени нагревания (при помещении в воду льда).

тура сохраняется равной 0°C и начинает повышаться после расплавления последней льдинки. Данные эксперимента целесообразно представить графически. Пример такого графика приводится на рис. 74.

Эксперимент

Во внутренний стакан калориметра, предварительно определив его массу m_1 взвешиванием, вливают 200 г воды, имеющей температуру порядка 10°C . Вторичным взвешиванием определяют массу налитой воды m_2 .

Лед, расколотый на кусочки размером с грецкий орех, кладут на фильтровальную бумагу, под которую подкладывают термоизолирующую прокладку.

Измерив температуру воды во внутреннем сосуде калориметра t° , в нее бросают несколько кусочков льда. Куски льда должны быть хорошо обсушены фильтровальной бумагой. Для переноса кусочков льда в калориметр следует воспользоваться полосками из фильтровальной бумаги. Нужно следить, чтобы вода при сбрасывании кусочков льда не выплескивалась из калориметра. Помешивая проволоочной мешалкой, дают растаять всем сброшенным в воду кусочкам льда и тотчас же измеряют температуру Θ . Новым взвешиванием внутрен-

него сосуда калориметра определяют массу m_3 внесенного и расплавленного льда. По разности температур определяют понижение температуры воды в калориметре Δt_1° и прирост температуры воды, полученной из льда, Δt_2° . На основании данных, полученных в эксперименте, решают уравнение теплового баланса, в котором тепло отдалось калориметром и первоначально налитой в него водой, а получили его лед в процессе таяния и вода, полученная из льда:

$$Q_{\text{отд}} = Q_{\text{получ}};$$

$$(c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta t_1^\circ = \lambda m_3 + c_2 m_3 \Delta t_2^\circ.$$

В этом уравнении c_1 — удельная теплота вещества, из которого сделан калориметр, c_2 — удельная теплоемкость воды, λ — удельная теплота плавления льда в $\text{дж} \cdot \text{кг}^{-1}$, или $\text{ккал} \cdot \text{кг}^{-1}$,

$$\Delta t_1^\circ = t_1^\circ - \Theta \text{ и } \Delta t_2^\circ = \Theta - t_2^\circ, \text{ но } t_2^\circ = 0^\circ \text{C и } \Delta t_2^\circ = \Theta.$$

Окончательный вид уравнения теплового баланса, решенного относительно удельной теплоты плавления льда, следующий:

$$\lambda = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2) \Delta t_1^\circ - c_2 m_3 \Delta t_2^\circ}{m_3}.$$

При достаточно тщательном проведении эксперимента полученное значение удельной теплоты плавления льда близко к истинному.

Примечания

1. Этот эксперимент может быть проведен и в сосуде Дьюара или в самодельном калориметре из двух химических стаканов, входящих друг в друга, но в этом случае внутренний стакан должен опираться на кусочки пробки, подложенные под него так, чтобы стенки стаканов не соприкасались.

2. При работе с сосудом Дьюара следует просмотреть Э-18 и внести соответствующие изменения в расчетную формулу.

57. Увеличение объема воды при замерзании

Две пробирки (длина 180 мм и 80 мм); химический стакан (1000 мл); резиновое кольцо; прозрачный сосуд Дьюара с незапаянным нижним штуцером (25 мл) из комплекта, обычно прилагаемого к двойному термоскопу; резиновая пробка с двумя отверстиями; короткооттяну-

тая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина 50 мм); прямоугольно изогнутая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина одного колена 150 мм, другого 60 мм); резиновый шланг; штатив; поваренная соль; лед; эфир; светильный городской газ.

Вариант 1. Большой химический стакан наполняют охлаждающей смесью колотого льда и поваренной соли, насыпанных в стакан слоями, и в эту смесь погружают пробирку, на три четверти наполненную водой. Уровень воды в пробирке предварительно отмечают резиновым колечком, надевая его на пробирку. После замерзания воды пробирку извлекают из стакана. Нетрудно установить, что высота образовавшегося столбика льда примерно на $\frac{1}{10}$ больше высоты столбика ранее налитой в пробирку воды. Таким образом, новый объем твердой фазы вода — лед относится к жидкой фазе воды примерно как 1,1 : 1,0, что соответствует их плотностям (0,9 и 1,0).

Вариант 2. Для проведения этого варианта эксперимента необходимо иметь небольшой прозрачный сосуд Дьюара с незапаянным штуцером (рис. 75) для откачивания воздуха. Такой сосуд укрепляют штуцером в лапке штатива. На стенке сосуда необходимо нанести миллиметровую шкалу.

В сосуд Дьюара вливают небольшое количество воды, наполняя его не больше, чем на одну треть.

Из небольшой пробирки изготавливают горелку (микробрер). Для этого пробирку наполовину заполняют эфиром и затыкают пробкой с двумя отверстиями: в одно — вводят прямую, оттянутую с одного конца, короткую стеклянную трубку, в другое — прямоугольно изогнутую трубку, на которую надевают резиновый шланг, соединенный с краном газовой городской сети. Длинное колено прямоугольно изогнутой трубки, введенное в пробирку, должно достигать почти до ее дна. Микробрер погружают, как поплавков, в воду, налитую в сосуд Дьюара.

После сборки установки немного приоткрывают кран газопровода и пускают газ с такой скоростью, чтобы он пузырька-

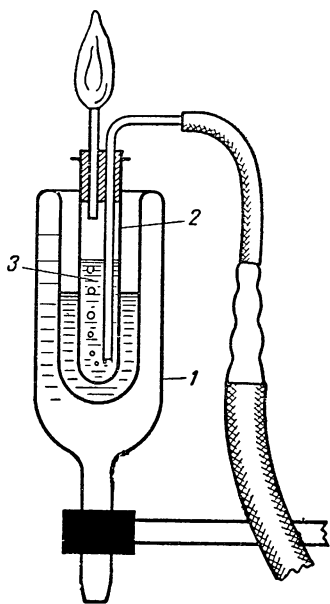


Рис. 75. Увеличение объема воды при замерзании ее в результате испарения эфира [уменьшено в 3 раза]:

1 — прозрачный сосуд Дьюара; 2 — микробрер; 3 — эфир.

ми прорывался через эфир, вызывая его испарение. Выходящий из трубки микробренера газ, смесь паров эфира и светильного газа, по прошествии нескольких секунд поджигают. За это время газ должен вытеснить воздух из микробренера. Поступление газа следует отрегулировать так, чтобы язычок пламени был не более 30 мм.

Испарение эфира вызывает понижение его температуры, а следовательно, и температуры пробирки, а это приводит к постепенному понижению температуры воды в двухстенном сосуде. Через несколько минут вода, налитая в двухстенный сосуд Дьюара, замерзает. Уровень образовавшегося льда в сосуде выше уровня ранее налитой в него воды на несколько миллиметров.

Примечание

Описанный в эксперименте сосуд Дьюара (без серебрения) обычно входит в комплект деталей двойного термоскопа и используется в ряде экспериментов, в частности в Э-59 и Э-60.

58. Уменьшение объема стеарина при затвердевании

Два химических стакана (100 мл и 550 мл); тонкий шнур; стеклянная палочка; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; стеарин.

Небольшой химический стакан наполняют мелко истолченным стеарином и нагревают на водяной бане. После расплавления стеарина стакан опускают в холодную воду. Стеарин вначале начинает затвердевать у стенок стакана и только постепенно — во всей своей толще.

Рассматривая образовавшийся слой стеарина, нетрудно установить, что в средней части его поверхность значительно углублена; это вызвано уменьшением объема стеарина при затвердевании.

59. Показ теплоты кристаллизации тиосульфата натрия

Двойной термоскоп; небольшой прозрачный сосуд Дьюара (25 мл) со штуцером; пробирка; резиновый шланг (длина 300 мм); стеклянная палочка; химический стакан (550 мл); термометр (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; тиосульфат натрия; ацетат натрия.

Предварительный эксперимент

Пробирку, по размерам соответствующую небольшому прозрачному сосуду Дьюара, на $\frac{2}{3}$ наполняют тиосульфатом натрия и, поместив на водяную баню, нагревают до полного расплавления тиосульфата. После этого пробирку извлекают из водяной бани и расплаву тиосульфата дают остыть до комнатной температуры (не встряхивать!). Несмотря на понижение температуры, тиосульфат остается жидким (находится в фазе переохлаждения).

Взяв такую пробирку в руки, бросают в переохлажденный жидкий тиосульфат натрия несколько его кристалликов. Почти мгновенно вокруг брошенных кристалликов начинается рост более крупных кристаллов, и жидкий тиосульфат очень быстро кристаллизуется. При этом выделяется значительное количество теплоты. Пробирка нагревается настолько, что экспериментатор вынужден укрепить ее в штативе, иначе она обжигает руку.

Эксперимент

Можно получить значительно более объективные результаты эксперимента, если его проводить, применяя двойной термоскоп.

Штуцер малого сосуда Дьюара, помещенного в боковую лапку двойного термоскопа, при помощи резинового шланга соединяют с поворотным краном термоскопа (рис. 76). В сосуд наливают 5 мл воды и помещают в нее пробирку, наполненную переохлажденным жидким тиосульфатом (подготовка которого описана в предварительном эксперименте). На короткое время открывают кран термоскопа, выравнивая давление между манометром и пространством между стенками сосуда Дьюара. После этого в переохлажденный тиосульфат бросают мелкие кристаллы твердого тиосульфата и тотчас же в пробирку погружают термометр. В течение немногих секунд происходит кристаллизация всей массы тиосульфата.

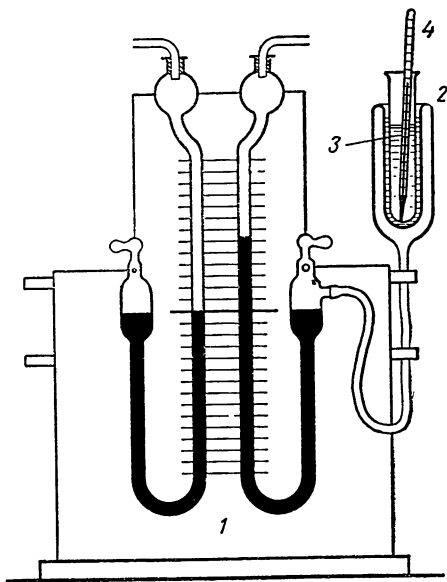


Рис. 76. Выделение теплоты при кристаллизации переохлажденного тиосульфата:

1 — термоскоп; 2 — малый сосуд Дьюара с водой; 3 — жидкий тиосульфат в пробирке; 4 — термометр.

Резкое поднятие уровня подкрашенной воды в манометрической трубке термоскопа указывает, что в процессе кристаллизации тиосульфата выделяется значительное количество теплоты, которая называется теплотой кристаллизации. Термометр, опущенный в тиосульфат, показывает, что во время кристаллизации температура почти на 50° выше среднего значения точки плавления, равной 45°C .

Примечания

1. Вода, которую наливают в сосуд Дьюара, необходима, чтобы передать теплоту кристаллизации тиосульфата от пробирки к сосуду.

2. В том случае, если необходимо сэкономить время проведения эксперимента, следует переохлажденный жидкий тиосульфат подготовить до начала занятия и пробирку с ним обернуть ватой. В такой ватной обкладке переохлажденный тиосульфат натрия остается длительное время жидким.

3. Эксперимент может быть проведен и с рядом других легкоплавких солей, как например с ацетатом натрия (уксуснокислым натрием).

60. Затрата теплоты при растворении солей

Оборудование то же, что и для Э-59; кроме того: тиосульфат натрия; нитрат калия; азотнокислый аммоний; хлористый аммоний; азотнокислый калий.

Применение в этом эксперименте двойного термоскопа диктуется необходимостью демонстрации процесса целому классу, хотя, несомненно, подобный эксперимент, проводимый в порядке лабораторной работы, может быть осуществлен и при помощи одного термометра. Эксперимент качественный.

Прозрачный сосуд Дьюара, штуцер которого соединен с крапом манометрической трубки термоскопа, наполняют наполовину водой. Кратковременно открывая кран, выравнивают давление в пространстве между стенками сосуда Дьюара и атмосферой. При этом уровни подкрашенной воды в манометрических трубках устанавливаются на нулевой отметке.

В воду, налитую в сосуд Дьюара, всыпают примерно чайную ложку той или иной соли, лучше всего тиосульфата натрия, и, погрузив в смесь воды с солью стеклянную палочку, вращением ее ускоряют процесс растворения соли. По мере растворения кристаллов уровень подкрашенной воды в манометрической трубке термоскопа заметно понизится, что указывает на охлаждение воздуха в пространстве между стенками сосуда Дьюара, а следовательно, и на затрату энергии на растворение солей (рис. 77).

Примечания

1. Подобный эксперимент может быть проведен и в упрощенном виде. В стакан наливают некоторое количество воды и в воду высыпают равное по массе количество азотнокислого аммония. В химическую пробирку наливают около 1 мл воды; этой пробиркой с водой перемешивают смесь воды и азотнокислого аммония, помещенную в химический стакан. Уже через некоторое время вода, налитая в пробирку, замерзает.

2. Эксперимент может быть проведен в порядке лабораторной работы. В этом случае отпадает необходимость в двойном термоскопе и сосуде Дьюара со штуцером. Ученики наливают в пробирку воду и в нее насыпают соли, например азотнокислого аммония. Масса соли должна быть равна массе воды. Смесь перемешивают лабораторным термометром. По показанию термометра нетрудно установить после растворения всей массы кристаллов значительное понижение температуры, а значит, и затрату теплоты на растворение.

3. Вместо тиосульфата натрия или азотнокислого аммония могут быть применены и другие соли, в частности азотнокислый калий и хлористый аммоний.

4. Нам думается, что параллельно с описанным экспериментом, в котором рассматривается понижение температуры при растворении солей, во всяком случае на старшей ступени обучения следует показать и обратный процесс — процесс нагревания, наблюдаемый при растворении или, точнее, при разбавлении, например, серной кислоты водой. (Прим. перев.)

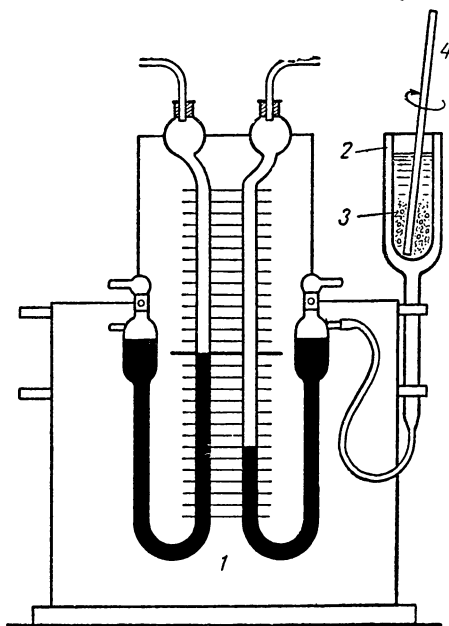


Рис. 77. Понижение температуры воды при растворении в ней солей:

1 — термоскоп; 2 — малый сосуд Дьюара с водой; 3 — кристаллический тиосульфат или азотнокислый калий; 4 — термометр.

61. Изготовление охлаждающих смесей

Калориметр или два химических стакана (550 мл и 1000 мл); термометр (-100°C — $+30^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); столовая ложка; вата; стеклянные пластинки; термоизолирующая подставка; поваренная соль; хлористый кальций; хлористый аммоний; лед.

Предварительный эксперимент

Столовую ложку с мелко истолченным льдом или снегом помещают на стеклянную пластинку, под которую подложена термоизолирующая подставка. Под ложку накапывают не-



Рис. 78. Примерзание ложки к столу.

сколько капель воды. На лед или снег насыпают чайную ложку поваренной соли. Спустя несколько минут столовая ложка примерзает к стеклу, так как находящаяся под ней вода превращается в лед (рис. 78). Необходимо следить, чтобы в воду, находящуюся под ложкой, не попали кристаллы соли, так как это понизит точку затвердевания воды и эксперимент может не удался.

Эксперимент

Между внутренним и внешним стаканами калориметра набивают вату или резаную бумагу. Во внутренний стакан насыпают слоями толченый лед и поваренную соль; при этом толщина слоя льда должна быть около 20 мм, а соли — около 10 мм (рис. 79). В такую слоеную смесь соли и льда помещают термометр, рассчитанный на температуру ниже 0°C . Термометр через некоторое время покажет значительное понижение температуры.

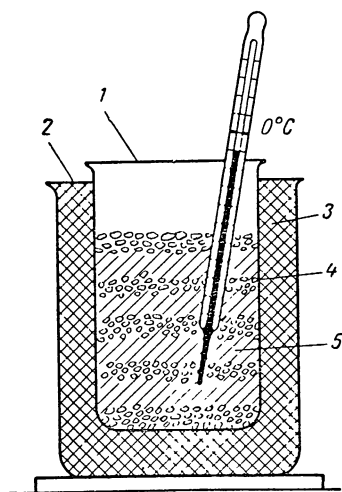


Рис. 79. Калориметр с охлаждающей смесью:

1 — внутренний стакан калориметра; 2 — внешний стакан; 3 — термоизолятор — вата или резаная бумага; 4 — поваренная соль; 5 — колотый лед.

Примечание

В качестве охлаждающей смеси можно использовать составы, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Охлаждающие смеси

Соотношение масс	Состав	Достигаемая температура, °С
1 : 1	Лед+хлористый аммоний	—18
4 : 1	Лед+поваренная соль	—21
1 : 2	Лед+хлористый кальций	—40
3 : 4	Лед+поташ	—46
2 : 3	Лед+хлористый кальций	—55
1 : 1	Твердая уголекислота+эфир	—78

Быстрое местное охлаждение можно вызвать, опрыскивая или поливая нужный участок хлористым этилом, вызывающим местное охлаждение в результате интенсивного испарения.

62. Таяние льда под действием давления и смерзаемость его после снятия давления. Регеляция

Прямоугольный кусок льда (200 мм × 200 мм × 600 мм); тонкая стальная проволока (Ø0,6 мм, длина 1000 мм); два груза (по 5 кг) или один более тяжелый груз (10 кг); две деревянные дощечки (200 мм × 200 мм); большая кювета; два деревянных высоких бруска (250 мм × 250 мм × 400 мм); два штатива с кольцами.

Прямоугольный кусок льда помещают на две дощечки, лежащие на кольцах двух штативов (рис. 80). Примерно посередине куска через него перебрасывают петлю из тонкой стальной проволоки. Нижние концы петли хорошо скручивают и к ним подвешивают достаточно тяжелый груз. Под действием давления несколько понижается точка плавления и замерзания, и лед под проволокой плавится. (Под кусок льда следует подставить кювету.) Однако по мере углубления проволоки в лед он сразу же за проволокой смерзается, и в этом случае говорят, что происходит регеляция.

Через некоторое время проволочная петля пройдет через толщу льда, не разрезав, однако, кусок на две части — он останется, как и прежде, целым.

Примечание

Штативы можно заменить деревянными брусками, на которые и опереть кусок льда.

Явления регеляции вокруг нас

Большое значение регеляция имеет зимой на железных дорогах. При небольшом снегопаде в безветренную погоду выпадающий снег не нарушает нормального движения железнодоро-

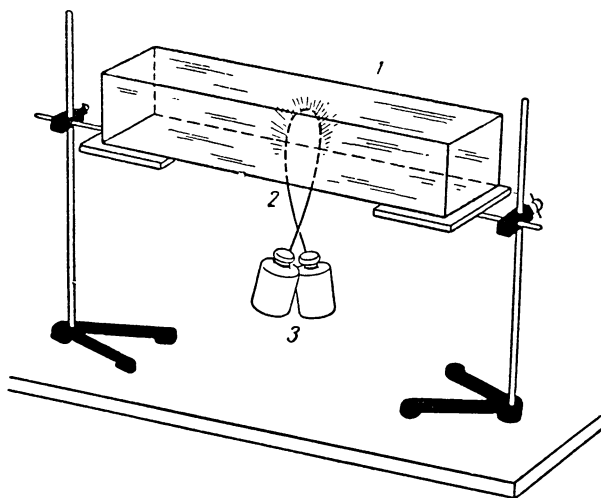


Рис. 80. Регеляция льда:

1 — кусок льда; 2 — проволочная петля; 3 — груз.

рожного состава. Под колесами вагонов возникает значительное давление, и снег плавится, но как только вагон минует данное место плавления, вода на нем тотчас же превращается в лед. Такое же явление происходит и под коньками конькобежца. Фактически конек опирается на водяную подушку, возникшую в результате давления на лед. Явление регеляции обеспечивает работу ледяных дорог, прокладываемых лесорубами в горах.

63. Переохлажденная вода

Широкая пробирка; резиновая пробка к ней; термометр (-100°C — $+30^{\circ}\text{C}$); термометр замерзания; химический стакан (1000 мл); термоизолирующая прокладка; лед; поваренная соль.

Резиновую пробку просверливают так, чтобы в полученный канал плотно входил термометр, рассчитанный на температуру ниже 0°C .

Широкую пробирку наполняют на две трети свежедистиллированной водой, которая дополнительным кипятиением освобождается от растворенного в ней воздуха. Заткнув пробирку пробкой со вставленным в нее термометром, ее помещают в охлаждающую смесь (лед + поваренная соль) и дают спокойно стоять в течение нескольких минут (осторожно, не встряхнуть!). Охлаждающую смесь необходимо приготовить заранее, так как она должна простоять несколько минут после изготовления, чтобы в ней установилась температура порядка -10°C . Пробирку нужно держать в охлаждающей смеси до тех пор, пока налитая в нее вода не приобретет температуру -5°C , однако не замерзая и не переходя в лед (рис. 81). Затем пробирку осторожно вынимают из охлаждающей смеси и, убедившись в том, что при температуре -5°C вода все же не замерзла, пробирку резко встряхивают. Переохлажденная вода почти мгновенно превращается в лед, а термометр показывает, что образовавшийся к этому моменту лед имеет температуру 0°C .

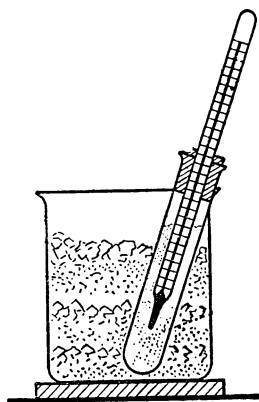
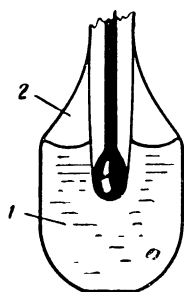


Рис. 81. Переохлаждение лишенной воздуха воды при помощи охлаждающих смесей.



Термометр заморзания

Целесообразно учащимся показать действие термометра заморзания (рис. 82). В этом термометре баллончик, заполненный ртутью, окружен вторым баллончиком, в котором находится дистиллированная вода. Эксперимент проводится так же, как опыт с пробиркой, моделирующей термометр заморзания.

Рис. 82. Баллончик термометра заморзания:

1 — дистиллированная вода в стеклянном запаянном баллончике; 2 — безвоздушное пространство.

Примечание

Образование зимних туманов связано с переохлажденным состоянием мельчайших водяных капель. Однако, гонимые ветрами, такие капли переохлажденной воды при встрече с препятствием (ветка, забор, деревянный столб, ветровое стекло транспорта, провода) мгновенно превращаются в лед.

Образующаяся ледяная корка может привести к серьезным нарушениям работы тех или иных агрегатов, и в частности к обрыву не только телеграфных, но даже высоковольтных проводов.

64. Точка замерзания солевых растворов

Узкая химическая пробирка (\varnothing 14 мм); широкая химическая пробирка (\varnothing 20 мм); химический стакан (1000 мл); криоскоп Бекмана; термоизолирующая подставка; лед; поваренная соль; спирт денатурированный; сахар.

Определение точки затвердевания солевых растворов

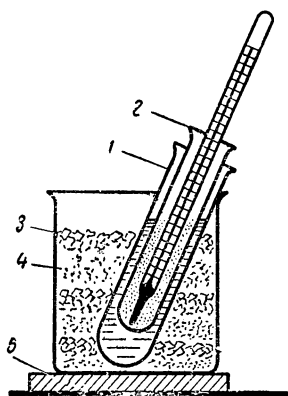


Рис. 83. Понижение температуры затвердевания воды, содержащей соли: 1 — пробирка со спиртом; 2 — узкая пробирка с водным раствором соли; 3 — лед; 4 — поваренная соль; 5 — термоизолирующая подкладка.

В небольшом химическом стакане приготавливают охлаждающую смесь (см. Э-61) и в нее помещают широкую пробирку. В эту пробирку следует налить немного спирта. В другую, узкую, пробирку наливают воду и в воду погружают термометр. Такую пробирку ставят в находящуюся в охлаждающей смеси широкую пробирку (рис. 83). Как только вода в узкой пробирке начнет замерзать, измеряют температуру и убеждаются, что она равна 0°C .

Узкую пробирку извлекают из широкой и дают растаять образовавшемуся льду. Затем в воду насыпают поваренную соль из расчета около 2 г на 5 мл воды и после растворения соли вновь определяют точку замерзания, но на этот раз уже солевого раствора, для чего узкую пробирку вновь помещают в широкую, находящуюся в охлаждающей смеси. Еще и еще раз повторяют

эксперимент с увеличивающимся количеством растворяемой соли.

Этот эксперимент позволяет убедительно показать, что с увеличением концентрации раствора соли соответственно понижается точка замерзания солевого раствора.

Определение молекулярного веса по понижению точки затвердевания

Наблюдаемая зависимость между понижением точки замерзания и концентрацией солевого раствора позволяет определить молекулярный вес последнего. Этот метод получил название криоскопического метода*. В этом случае следует использовать криоскоп Бекмана (пробирка Бекмана), так как, проводя определение на самодельном приборе, не избежать значительных ошибок. Пробирка Бекмана изображена (как и вся установка) на рис. 84.

В основе расчета лежит уравнение Рауля:

$$\Delta t^{\circ} = K \frac{m}{M},$$

где Δt° — понижение точки замерзания, m — масса вещества, растворенного в 1000 мл воды, M — молекулярный вес вещества, K — криоскопическая постоянная, характеризующая растворитель, равная для воды $1,86^{\circ}$, для бензола $5,7^{\circ}$ в градусах стоградусной шкалы.

Эксперимент

Во внутреннюю пробирку криоскопа Бекмана вливают 20 г воды и криоскоп помещают в охлаждающую смесь. При тщательном перемешивании доводят воду до замерзания. Записывают по показанию термометра точку замерзания воды. Затем, вынув внутреннюю пробирку, дают льду растаять и через боковой отвод вносят в воду вещество, которое должно быть растворено, например поваренную соль 0,03 г, и после тщательного перемешивания определяют новую температуру замерзания.

На основании этого наблюдения определяют число градусов Δt° , на которое понизится температура замерзания растворителя по сравнению с нормальной температурой его замерзания.

Так как 0,03 г соли было растворено в 20 г воды, то на 1000 г воды приходится $m = 1000 : 20 \times 0,03 \text{ г} = 1,5 \text{ г}$

Дальнейшее решение ведется по формуле:

$$M = K \frac{m}{\Delta t^{\circ}}.$$

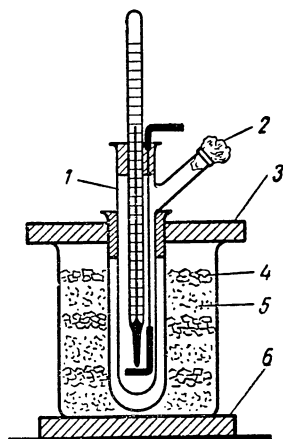


Рис. 84. Определение молекулярного веса раствора:

1 — криоскоп Бекмана; 2 — ватная пробка; 3 — картонная крышка с прорезью; 4 — лед; 5 — поваренная соль; 6 — термозолирующая подкладка.

* Криоскопия от греч. $\chi\rho\omicron\sigma\varsigma$ — холод, мороз. (Прим. перев.)

Примечания

1. Этот эксперимент может быть проведен и с другими веществами. Так можно исследовать температуру замерзания раствора тростникового сахара. В этом случае следует на 20 г воды взять 3 г сахара.

2. Интересно указать, что морская вода при солености 24,7‰ имеет наибольшую плотность и замерзает при температуре $-1,33^{\circ}\text{C}$, а пресная вода замерзает при 0°C , однако, наибольшая ее плотность при $+4^{\circ}\text{C}$ *.

§ 10. ФОРМОВКА МЕТАЛЛА БЕЗ СНЯТИЯ СТРУЖКИ

65. Пояснение процессаковки и горновой сварки (I)

Три толстых железных гвоздя (длина 140 мм); два куска квадратного железного прута (со стороной квадрата 8 мм, длина 150 мм); переносная наковальня или кусок стали значительной массы (не менее 20 кг); двое тигельных щипцов; молоток (500 г); горелка Даниэля.

Ковка

Для демонстрации процессаковки необходимо разогреть железный гвоздь или болт, держа его тигельными щипцами, в горячем пламени горелки Даниэля до красного каления (рис 85, а). После того как гвоздь раскалится, его помещают в наковальню и сильными ударами молотка придают ему нужную форму (рис. 85, б).

Горновая сварка

Сварку металла ковкой можно продемонстрировать, сваривая два длинных, так называемых строительных, гвоздя. Для этого гвозди, держа тигельными щипцами, разогревают в горячем пламени горелки Даниэля до белого каления, то есть до температуры, близкой к точке плавления. После того как гвозди раскалятся, их помещают друг на друга остриями навстречу на наковальню и сильными ударами молотка обрабатывают (рис. 86). Как только между гвоздями возникнет сцепление, их следует совместно вращать вокруг продольной оси, придавая им форму круглого стержня. При этом гвозди сварятся между собой. Сварка затруднится, если гвозди будут скользить один относительно другого или слишком быстро остывать.

* Соленость морской воды (‰) соответствует числу граммов солей, растворенных в 1 кг морской воды. (Прим. перев.)

Примечания

1. Процесс горновой (кузнечной) сварки удобнее демонстрировать не на круглых гвоздях или болтах, а на квадратном пруте, что значительно уменьшит возможность скольжения. Но если все же применяют гвозди, то целесообразно при началековки класть их не параллельно друг другу, а крест-накрест.

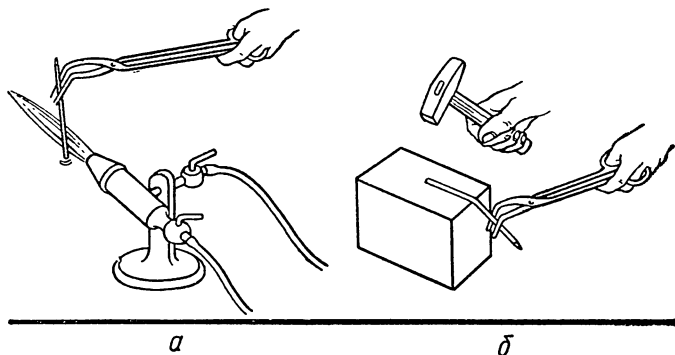


Рис. 85. Ковка в разогретом состоянии:
а — разогрев; б — ковка.

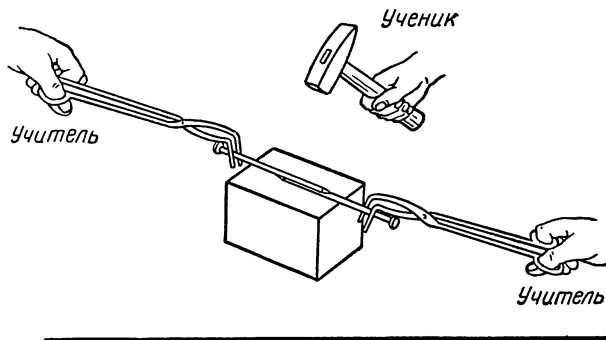


Рис. 86. Сварка металла ковкой.

2. Описанный вид сварки, так называемый кузнечный или горновой, применяется как побочный процесс при ковке. Кузнечная сварка как самостоятельный технологический процесс в последнее время полностью вытеснена автогенной или электросваркой. Однако, несмотря на это, эксперимент является поучительным, так как дает наглядное представление о самом процессе сварки — диффузии металла в металл.

66. Эксперименты, демонстрирующие литье в формовочном песке (!)

Горшок из обожженной гончарной глины; очень мелкий песок; черпак для плавки и разливки металла; деревянные профилированные модели; валик ($\varnothing 10$ мм, длина 100 мм); четырехгранный брусок (10 мм \times 10 мм \times 100 мм); толстостенная трубка (внешний $\varnothing 20$ мм, внутренний $\varnothing 10$ мм, длина 100 мм); бунзеновская горелка; гранулированный или порошкообразный свинец (100 г).

Подготовка форм

В горшок из обожженной гончарной глины насыпают влажный очень мелкий песок. В этот песок вдавливают на глубину около 30 мм ту или иную деревянную модель будущей отливки (рис. 87). Песок при этом раздается в стороны. Слегка покачи-

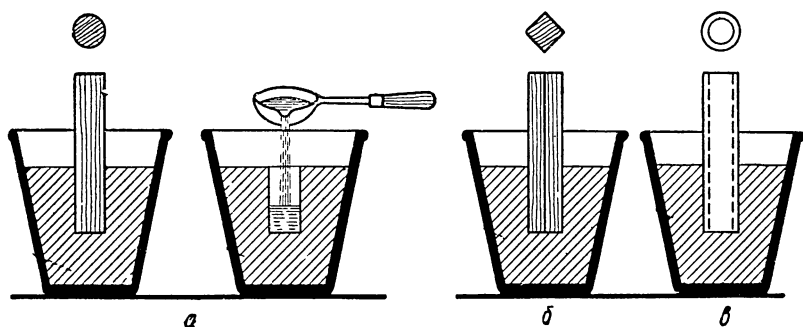


Рис. 87. Литье металла в изложницы:
а — круглый брусок; б — прямоугольный брусок; в — труба.

вая, модель извлекают из песка так, чтобы стенки углубления оставались неповрежденными. Для этого необходимо, чтобы поверхность модели была тщательно зачищена и не имела заусенцев.

Отливка деталей

В черпаке на сильном пламени бунзеновской горелки расплавляют свинец и выливают его в углубление в песке — в форму. Уже через сравнительно небольшой промежуток времени свинец затвердевает и деталь может быть извлечена из песка.

67. Эксперимент, демонстрирующий процесс изготовления сложных земляных форм и литье в них (!)

Восемь деревянных планок (10 мм×40 мм×100 мм); две деревянные модели из детского набора «Юный строитель»; черпак для разливки металла, две стеклянные пластинки (3 мм×150 мм×150 мм); два гвоздя; две конические круглые деревянные палочки; формовочный песок (земля); мелкий песок; гипс; свинец гранулированный или порошковый (1000 г); бунзеновская горелка.

Изготовление ящика для формовки земли

Из деревянных планок сколачивают две совершенно одинаковые рамки. В торцах рамок по центру стороны просверливают на глубину около 25 мм каналы под гвозди. В торец одной из рамок в подготовленные каналы вбивают гвозди, предварительно обрубив шляпки и затупив острия (рис. 88). Выступаю-

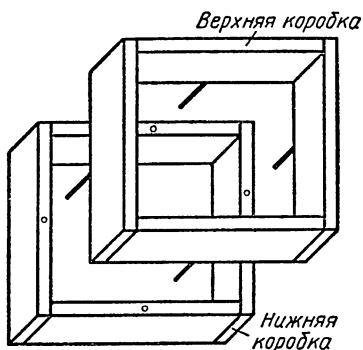


Рис. 88. Разборная коробка для формовки земли.

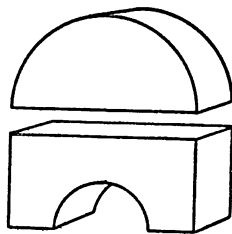


Рис. 89. Разборная деревянная форма.

щие части гвоздей должны плотно, но и без трения входить в соответствующие отверстия другой рамки, которая и явится нижней рамкой ящика.

Изготовление формы

В качестве деревянных моделей удобнее всего использовать детали из набора «Юный строитель», взяв одну полукруглую деталь, а другую — мостообразную (рис. 89). Необходимо просле-

дить, чтобы одна деталь по размерам строго соответствовала другой. При отсутствии готовых деталей можно, естественно, поручить учащимся изготовить детали подобной конфигурации в учебных мастерских.

Для изготовления земляных форм лучше всего воспользоваться специальной формовочной землей или песком, достав их на одном из предприятий, имеющих литейный цех. Но если это

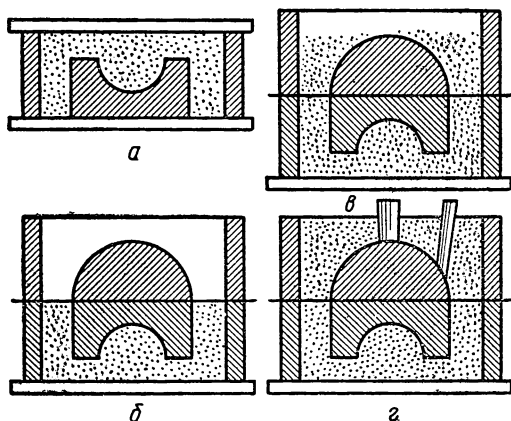


Рис. 90. Формовка земли:

а — засыпка нижнего короба; *б* — установка верхнего короба и верхней части модели; *в* — засыпка собранной формы; *г* — окончательная формовка земли со вставкой вкладышей для выпора и литника.

невозможно, то следует изготовить формовочную землю самим. Для этого нужно взять мелкий песок и гипс (2 : 1) и только тогда, когда все подготовлено для эксперимента, сделать формовочную массу. Для этого необходимо тщательно перемешать сухой песок с гипсом и развести водой до получения довольно густой кашицы.

Затем, перевернув нижнюю рамку формовочного ящика отверстиями для гвоздей вниз, кладут ее на стеклянную пластинку, на которую примерно в центре рамки ставят половину деревянной модели, а если это мостобразная деталь, то ставят ее ножками вверх (рис. 90, *а*). Рамку набивают готовой формовочной массой. Поверхность массы выравнивают при помощи второй стеклянной пластинки.

Как только формовочная земля будет плотно забита в рамку, а если это самодельная масса, то, когда она застынет, рамку переворачивают и снимают стеклянную пластинку, заменяя ее листом кальки, в которой сделаны вырезы, соответствующие свободной от массы поверхности деревянной модели.

На свободную поверхность половинки деревянной модели, запрессованной в формовочную массу, ставят вторую половинку модели и на раму нижней рамки помещают верхнюю рамку. При этом выступающие из бортов верхней рамки концы гвоздей должны войти в соответствующие каналы, просверленные в торце нижней рамки (рис. 90, б). Верхнюю рамку забивают формовочной землей, следя за тем, чтобы не сдвинуть модель (рис. 90, в). После заполнения массой верхней рамки в эту массу вводят две конические деревянные круглые палочки для того, чтобы получить на их месте каналы литника и выпора*. Палочки нужно ввести до соприкосновения с деревянными моделями (рис. 90 г).

После окончания уплотнения формовочной массы, а при использовании самодельной массы — ее затвердевания ящик (опоку) разбирают, снимая верхнюю рамку вместе с массой и запрессованными в нее палочками и частью модели. Осторожно из формовочной массы верхней и нижней рамок извлекают деревянные детали и верхнюю рамку снова ставят на нижнюю. Отверстие, предназначенное для литника, резенкуют, придавая ему форму воронки (рис. 91).

В том случае, если внутри стенок формы и каналов формовочная масса несколько разрушилась, ее следует выровнять и уплотнить при помощи круглой деревянной палочки. Форма готова.

Литье

1. Гранулированный или порошкообразный свинец расплавляют в черпаке для разлива металла и через литник вливают в форму до тех пор, пока он не покажется в канале выпора.

Свинец должен застыть; для этого нужно около десяти минут, и тогда можно извлечь готовую отливку из формы. Ящик-опоку разбирают. Обычно формовочную массу, особенно в верх-

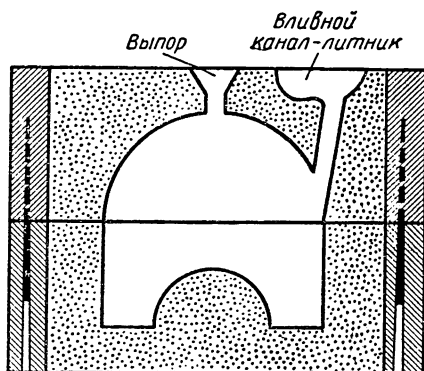


Рис. 91. Вертикальный разрез готовой для заливки земляной формы.

* *Литник* — канал, через который вливается расплавленный металл. *Выпор* — канал, через который выходит вытесняемый металлом воздух. Литник в верхней части имеет обычно расширение—воронку. (Прим. перев.)

ней рамке, приходится разбивать. Отливку следует очистить, освободив ее от приставшей к ней формовочной массы и срезав выступающую из нее и застывшую в каналах литника и выпора массу свинца. Желательно поверхность полученной отливки обработать напильником, придав ей вид «готовой продукции».

Примечания

1. Эксперимент дает достаточно точное представление о так называемом литниковом литье. Демонстрируемый процесс фактически ничем не отличается от технологического процесса настоящего литейного производства, если не считать того, что при литье в условиях массового производства объемных деталей канал литника ведет не в верхнюю, а в самую нижнюю часть модели.

2. Чтобы определить количество необходимого для литья металла, следует при помощи мензурки определить объем детали, а значит, и объем металла и умножить удельный вес металла на объем детали.

68. Эксперимент на самодельных или настоящих кокильных формах из легкого металла, демонстрирующий литье в кокилях

Небольшой готовый кокиль из легкого металла; жестяная формочка с высокими и гофрированными краями из детского набора для формовки «пирогов из песка» или форм для выпечки кексов; металлическая трубка (\varnothing 10 мм, длина 80 мм); четыре шурупа, круглая деревянная рейка; термоизолирующая подкладка; деревянный брусок; черпак для разливки металла; штатив; бунзеновская горелка; свинец гранулированный или порошковый (500 г); скипидар.

1. Кокиль — это разборная закрытая металлическая форма для фигурного литья, в которую металл заливается под действием силы тяжести. Однако, чтобы понять процесс кокильного литья, целесообразно вначале показать фигурное литье в открытую форму.

В первом варианте эксперимента используют открытую и неразборную металлическую форму. Удобно воспользоваться одной

из формочек детского набора. Можно также взять форму для выпечки кексов. В дне таких форм пробивают четыре отверстия под шурупы (рис. 92, а). Металлическую трубку режут на четы-

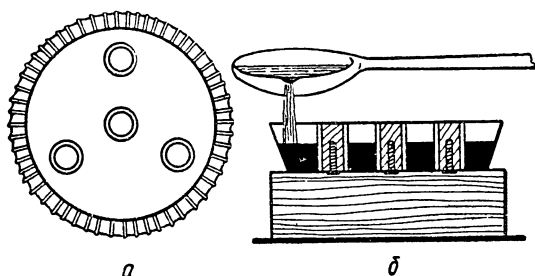


Рис. 92. Литье в самодельный кокиль.

ре куска, по 20 мм каждый. В эти куски трубки вбивают деревянные рейки. Куски трубок при помощи шурупов укрепляют внутри металлических формочек. Подготовленную таким образом модель открытого кокиля устанавливают на термоизолирующую подкладку, помещенную на деревянный брусok (рис. 92, б).

Расплавив в черпаке нужное количество свинца, выливают его в открытый кокиль так, чтобы он образовал слой толщиной до 10 мм; отливке дают остыть. Полученную отлитую деталь вынимают из кокиля. Такая деталь напоминает конусное зубчатое колесо.

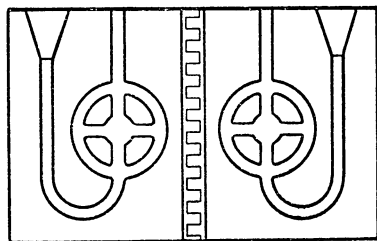


Рис. 93. Складной алюминиевый кокиль для отливки колесика.

2. Готовый небольшой кокиль, состоящий из двух шарнирно соединенных половинок, хорошо прогревают для того, чтобы в его каналах не оставалось следов влаги. Внутреннюю поверхность кокиля покрывают копотью. Кокиль собирают, то есть плотно закрывают его створки (рис. 93), и через литник вливают расплавленный свинец до появления видимой поверхности свинца в выпоре. После того как кокиль остынет, его раскрывают и вынимают отлитую деталь.

Деталь должна быть подвергнута очистке, и с нее должны быть сбиты остатки металла, застывшие в литнике и выпоре.

Примечания

1. На рис. 93 приводится как пример кокиль для изготовления небольшого колесика-штурвала.

2. Внутреннюю поверхность кокиля необходимо закоптить, чтобы предотвратить приваривание металла к кокилю. Для получения копоти можно воспользоваться коптящим пламенем скипидара. Налив в металлическую плошку скипидар, его поджигают и в обильно коптящее пламя вносят раскрытый кокиль.

ГЛАВА V

ПАРООБРАЗОВАНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

§ 11. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА

Возможно покажется излишним в главе, где рассматривается парообразование жидкостей, возгонка, конденсация паров, а также теплота парообразования, вводить эксперимент, в котором предлагается наблюдение за кипением (первую часть Э-69). Однако именно этот эксперимент следует считать одним из самых необходимых в школьном курсе физики. В этом эксперименте учащиеся приучаются видеть многое в самом простом и обычном. Не менее важна и вторая часть Э-69, в которой определяют точки кипения различных жидкостей. Мы склонны предложить его и для проведения в качестве лабораторной работы, в которой отдельные группы учащихся работают с различными жидкостями. Это имеет большое воспитательное значение, так как приучает к совместной работе и вызывает чувство соревнования отдельных групп. В этом эксперименте (Э-69) учащиеся имеют дело с огнеопасными жидкостями (эфиром, спиртом), что иногда настораживает преподавателей, однако нам думается, что эксперимент может быть проведен в старших классах и включен в работы, отнесенные к практикуму.

Эксперименту на модели теплообменника (Э-72) предшествуют два эксперимента (Э-70 и Э-71), в которых рассматриваются вопросы конденсации и дистилляции. Эти два эксперимента знакомят учащихся с приемами перегонки воды и тем самым ее очистки от примесей. Следует отметить, что фактически дистилляция основана на разделении смеси летучих веществ, имеющих различную температуру кипения. В приведенных экспериментах отделяется только одна фракция — вода, имеющая температуру кипения 100°C при нормальном давлении. Сам эксперимент 72 имеет политехническое значение, так как, моделируя теплообменник, учащиеся моделируют конденсационную установку теплоэлектростанций или других паровых машин (см. также примечание к Э-72).

Следует подчеркнуть принципиальную разницу между процессом испарения — вылетом молекул с поверхности тела, который происходит при любой температуре, и процессом кипения —

разрывом молекулярной связи внутри самой жидкости с образованием и ростом в толще воды пузырьков насыщенного пара, который при данном давлении происходит при вполне определенной температуре.

Процесс испарения жидкостей и зависимость скорости испарения от тех или иных условий демонстрируются экспериментами 73 и 74. Очевидно, что приведенными примерами не исчерпываются все возможности обычно достаточно эффективных демонстраций. Учителю предоставляется право выбора эксперимента, и нам думается, что ищущий преподаватель найдет возможным предложить ряд опытов по этому вопросу, которые могут быть выполнены учащимися в порядке домашних работ.

Испарение твердого тела — возгонка, или сублимация, — рассматривается несколько позже, в Э-88.

Эксперимент 74 подводит учащихся к представлению о затрате теплоты на процесс испарения. Дальнейшее развитие этого вопроса находит свое отражение в Э-75, где рассматривается калориметрический метод определения теплоты парообразования. Этот эксперимент должен быть проведен в порядке лабораторной работы, как и Э-76, показывающий зависимость температуры жидкости от затраты энергии на ее нагревание и кипение.

Зависимость температуры кипения от давления может быть продемонстрирована проведением Э-77 и Э-78, хотя по существу оба эксперимента чисто качественные.

Вопрос использования перегретого пара в технике — это также и вопрос о повышении коэффициента полезного действия тепловых машин. Вот почему мы считаем необходимым проведение Э-79, знакомящего учащегося с процессом получения перегретого пара.

Эксперимент 80, предназначенный для лабораторной работы на более высокой ступени обучения, является количественным и, несмотря на простейшее оборудование, дает вполне удовлетворительные результаты. Эксперимент позволяет установить понижение точки кипения воды по мере уменьшения давления на ее поверхность.

Противоположную зависимость — повышение точки кипения воды по мере увеличения давления на ее поверхность — можно продемонстрировать, проводя эксперимент 81 с котлом Папена. И этот эксперимент может быть проведен в числе работ, включаемых в практикум на более высокой ступени обучения. Так как котел Папена все же является небольшим паровым котлом, то работа с ним не исключает некоторую опасность, и поэтому эксперимент должен проводиться под наблюдением преподавателя.

Эксперименты с 82 по 85 знакомят со свойствами насыщающих и ненасыщающих паров. Они являются развитием экс-

периментов по газовым законам, рассмотренным во второй части руководства (часть 2, Э-99 — Э-103), и, несомненно, имеют большое политехническое значение. Мы не исключаем исследование закона Дальтона, хотя этот закон выходит за рамки обычного курса общеобразовательной школы. Однако именно этот закон позволяет говорить о парциальном давлении газа в газовых смесях, то есть рассмотреть вопрос, с которым связаны режим работы в шахтах, работа моряков подводного флота и т. п. Политехническое значение этого эксперимента (Э-84) заставляет нас включить его в руководство, что же касается места его проведения, то это зависит от преподавателя. Мы считаем возможным рекомендовать этот эксперимент для включения его в число работ практикума.

В заключение главы приводятся эксперименты по сжижению газов (Э-86) и изучению их свойств (Э-87 — Э-90). Все эти эксперименты проводятся как демонстрационные. Наконец, мы включили ряд экспериментов с жидким воздухом, объединенных под одной рубрикой Э-90, в которых мы видим единственную возможность ознакомить учащихся с миром низких температур.

§ 12. ПАРООБРАЗОВАНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ. ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

69. Определение точки кипения жидкостей (!)

Две плоскодонные широкогорлые колбы (500 мл и 100 мл), к ним корковые пробки с двумя отверстиями; прямоугольно изогнутая трубка ($\varnothing 2$ мм, длина колен по 50 мм); прямая трубка с вытянутым концом ($\varnothing 2$ мм, длина 100 мм); химический стакан (50 мл); термометр (0°C — 100°C , с ценой деления в 1°); треножник или лапка — кольцо к штативу; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; метровая линейка с указателем; штатив; бензол; спирт; эфир.

Часть 1. Колбу наполовину наполняют холодной водой и затыкают пробкой, имеющей два отверстия, в одно из которых вставляют термометр, в другое — прямоугольно изогнутую трубку. Колбу ставят на треножник, подложив асбестированную сетку, и под нее помещают бунзеновскую горелку (рис. 94).

Термометр должен быть опущен в колбу настолько, чтобы его баллончик находился почти у самой поверхности воды.

При нагревании воды в колбе следует провести наблюдение за следующими явлениями:

1) Отпотевание поверхности колбы. Это объясняется тем, что водяные пары, находящиеся в воздухе, уплотненные конвекцион-

ным потоком над пламенем горелки, конденсируются на холодную поверхность колбы.

2) По мере прогрева воды в колбе ее поверхность высыхает, и ранее сконденсировавшаяся вода испаряется.

3) При температуре 60°C начинается выделение из толщи воды пузырьков воздуха.

4) В температурном интервале от 80°C до 95°C на поверхности дна колбы возникают, всплывают и лопаются пузырьки водяного пара. Слышится гудящий звук, вода «урчит», «поет».

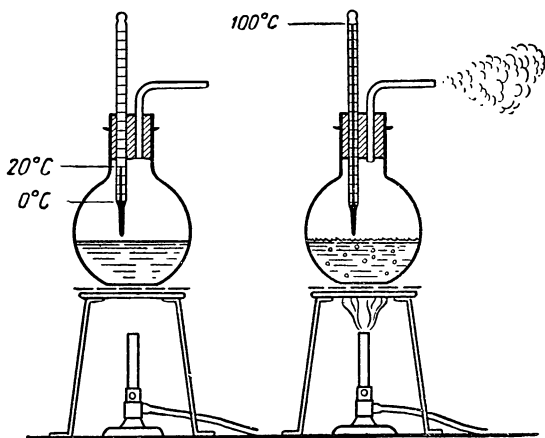


Рис. 94. Нагревание воды до кипения.

5) Почти точно при 100°C начинается быстрое возникновение у дна и в толще воды пузырьков водяного пара, которые всплывают на поверхность. Вода начинает клокотать, бурлить. Вода кипит.

6) При кипении воды в самой колбе во всей трубке и примерно на расстоянии до 10 мм от свободного ее конца водяные пары невидимы. Несколько дальше от конца трубки появляется заметное облачко — это мелкие капли конденсирующегося водяного пара — туман.

Значение этой части эксперимента заключается в том, что учащиеся приучаются к внимательному наблюдению как будто знакомого им явления; эксперимент может быть отнесен к числу тех, которые проводятся в порядке самостоятельной работы учащихся.

Часть 2. Круглодонную колбу примерно наполовину наполняют эфиром или спиртом и затыкают пробкой со вставленным в нее термометром и прямой с оттянутым верхним концом стеклянной трубкой. Баллончик термометра должен находиться над

самой поверхностью жидкости. Укрепив круглодонную колбу в лапке штатива, ее погружают в водяную ванну (рис. 95) и нагревают, следя за температурой. Как только в эфире начнут возникать всплывающие на поверхность пузырьки паров, признак начала кипения, измеряют температуру. Эта температура будет соответствовать точке кипения. Выделяющиеся из прямой трубки пары можно поджечь.

Примечание

Так как в этом эксперименте применяются горючие жидкости, то эксперимент в случае выполнения его в порядке самостоятельной работы проводится при внимательном наблюдении преподавателя. Целесообразно рядом с установкой поместить масштабную линейку с указателем и указатель на ней перемещать по мере поднятия уровня ртути в термометре.

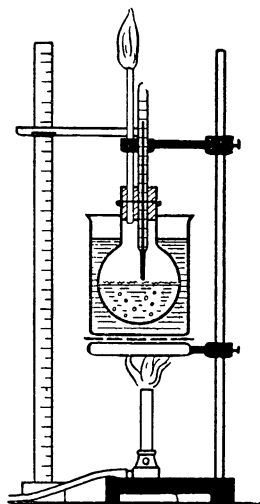


Рис. 95. Определение точки кипения эфира.

70. Конденсация и дистилляция

Химический стакан (550 мл); пробирка; реторта (100 мл); фарфоровая чашка (125 мл); круглодонная колба (250 мл); прямоугольно изогнутая стеклянная трубка ($\varnothing 3$ мм, длина колен по 50 мм); резиновый шланг; пробирка-держатель; воронка; треножник; асбестированная сетка; деревянная невысокая подставка; тазик; бунзеновская горелка; два штатива; еозин; поваренная соль; медный купорос; песок.

Предварительный эксперимент

Воду, налитую в химический стакан, доводят до кипения и в пары кипящей воды вносят пробирку, наполненную холодной водой (рис. 96).

На холодных стенках пробирки конденсируются водяные пары, образуя капли, стекающие в кипящую воду.

Эксперимент

Часть 1. В химический стакан наливают подкрашенную еозином воду, в которой растворено некоторое количество поваренной соли.

Эксперимент проводится так же, как и предварительный, но образующиеся капли дистиллированной воды следует исследо-

вать на цвет и вкус. Учащиеся убеждаются, что дистиллированная вода бесцветна и безвкусна, а значит, растворенные ранее в ней эозин и поваренная соль при кипении воды не переходят в пар. Это объясняется тем, что эозин и поваренная соль не испаряются при температуре кипения воды.

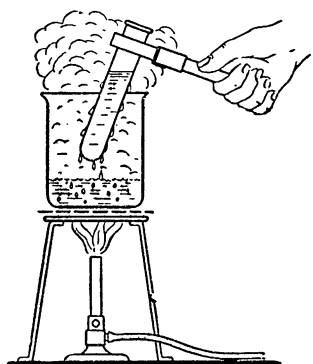


Рис. 96. Конденсация водяных паров.

Часть 2. Демонстрация процесса дистилляции может быть представлена в еще более наглядной форме. Для этого в реторту через верхний тубус при помощи воронки наливают примерно на $\frac{1}{3}$ ее вместимости воду,

подкрашенную эозином, с растворенной в ней поваренной солью или медным купоросом. Реторту ставят на песчаную баню, в фарфоровую чашку, наполненную песком (рис. 97). Песчаную баню прогревают в пламени бунзеновской горелки.

Горлышко реторты вводят в круглодонную колбу, которая и служит приемником дистиллированной воды. Такую колбу следует поместить в тазик, поставленный на деревянную подставку. При кипении воды в реторте водяные пары будут частично конденсироваться на стенках реторты и в ее горлышке и каплями

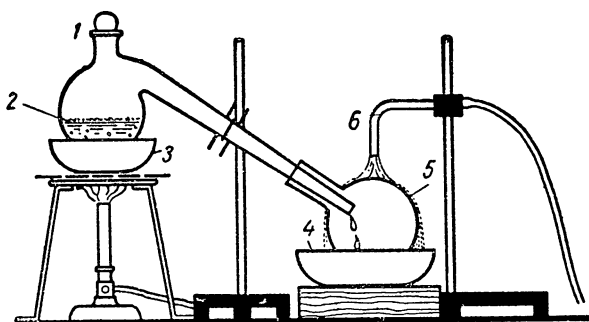


Рис. 97. Дистилляция:

1 — реторта; 2 — вода; 3 — фарфоровая чашка с песком; 4 — фарфоровая чашка с холодной водой; 5 — круглодонная колба; 6 — стеклянная трубка, соединенная с краном водопровода.

стекать в водоприемник. Можно значительно увеличить разницу температур между кипятыльником (ретортной) и приемником (колбой), если на колбу направить струю холодной воды из водопровода. Учащиеся убеждаются, что дистиллированная вода совершенно прозрачна и безвкусна.

Примечания

1. Этот эксперимент демонстрирует один из методов очистки воды от примесей.

2. Применяя медный купорос, следует соблюдать осторожность, так как при слишком бурном кипении его водного раствора последний может выплескиваться в горлышко реторты.

71. Дистиллятор с холодильником Либиха

Плоскодонная колба (500 мл); круглодонная колба (250 мл); стеклянная трубка, изогнутая под углом 60° ; две резиновые пробки; холодильник Либиха — Моора; большой сосуд или таз; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; два резиновых шланга; штатив; эозин; поваренная соль.

Собирается установка для дистилляции воды, изображенная на рис. 98.

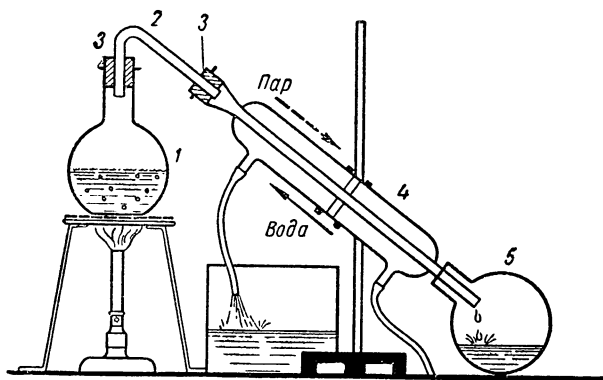


Рис. 98. Простейшая модель дистиллятора с холодильником Либиха:

1 — колба с подкрашенной водой; 2 — стеклянная трубка; 3 — пробка; 4 — холодильник Либиха; 5 — колба-приемник дистиллята.

При сборке установки шланг, идущий от водопроводного крана, должен быть соединен с нижним штуцером кожуха холодильника так, чтобы вода проходила через кожух снизу вверх и выходила через верхний штуцер. Сливной шланг целесообразно направить в водопроводную раковину, а при отсутствии таковой — в большой сосуд, служащий водоприемником.

Пары, образующиеся во время кипения в плоскодонной кол-

бе, проходят через среднюю трубку холодильника и, охлаждаясь, конденсируются. Дистиллят (дистиллированную воду) собирают в круглодонную колбу.

Примечание

Учебная промышленность РСФСР выпускает настенный, демонстрационный дистиллятор (рис. 99). Кипение воды вызывается разогреваемой электрическим током константа-

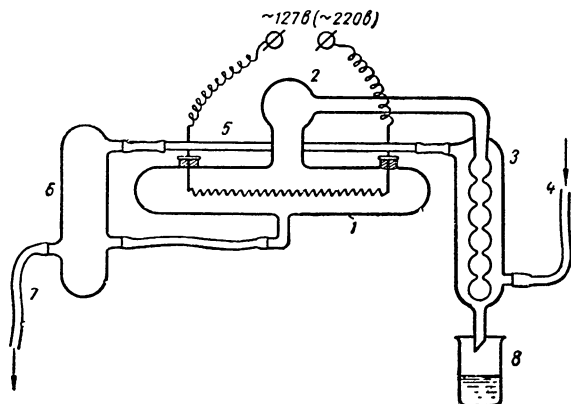


Рис. 99. Дистиллятор:

1 — котел с помещенной в нем электроспиралью; 2 — пароприемник; 3 — холодильник Шиффа; 4 — шланг от водопровода; 5 — соединительная трубка; 6 — водосточный уравнильный баллон; 7 — водосливный шланг; 8 — приемник дистиллята.

новой или нихромовой спиралью, помещенной в воду налитую в горизонтально расположенный сосуд. Дистиллятор работает от городской сети и рассчитан как на напряжение 127 в, так и 220 в. (Прим. перев.)

72. Эксперимент, демонстрирующий действие теплообменника

Плоскодонная широкогорлая колба (500 мл); к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; холодильник со змеевиком; резиновая пробка к штуцеру холодильника; пять прямоугольно изогнутых стеклянных трубок (\varnothing 3 мм, длина колен по 50 мм); химический стакан (800 мл); колба коническая (250 мл); к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; два термометра (0°C — $+120^{\circ}\text{C}$); три короткие резиновые муфточки; резиновый шланг; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; штатив; подставка.

Монтаж установки изображен на рис. 100. Вода из водопровода медленно направляется по змеевику во встречном по отношению к движению пара направлении.

Воду в плоскостонной колбе доводят до кипения и пар направляют в кожух холодильника, а оттуда через коническую колбу, служащую приемником конденсата, выводят наружу. Как только вода в колбе закипит, приоткрывают кран водопровода и пускают очень слабый ток воды через змеевик. Направление воды

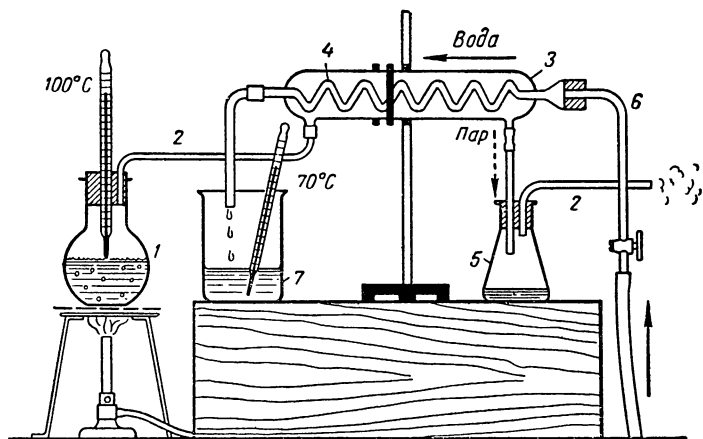


Рис. 100. Паронагревный аппарат (модель):

1 — котел-колба с кипящей водой; 2 — паропроводные трубки; 3 — кожух теплообменника; 4 — змеевик; 5 — приемник конденсата; 6 — водопроводящая трубка; 7 — приемник нагретой воды.

в змеевике должно быть противоположно направлению паров в кожухе. Водопроводный кран регулируют так, чтобы вода, вытекающая из змеевика, имела температуру порядка 70°C. Температуру вытекающей воды определяют по термометру, опущенному в химический стакан — водоприемник.

Техническое применение теплообменника

Нагревание жилых помещений (домов) наиболее целесообразно вести системой водонагрева. Но если дома достаточно удалены от котельной, то к ним подводят не горячую воду, а пар. Такой пар поступает в теплообменник, в котором и отдает свое тепло воде, циркулирующей по водопроводной системе данного дома. Конденсат из теплообменника по специальным трубам возвращается в котел.

73. Испарение. Пять простейших экспериментов

Два химических стакана (по 1000 мл); два часовых стекла (\varnothing 100 мм); пробирка; измерительная пипетка (5 мл); капельница с резиновым баллончиком; матированное листовое стекло (2 мм \times 300 мм \times 300 мм); малый воздуходувный аппарат, или фен; фильтровальная бумага; лампочка накаливания (150 вт); штатив; спирт; эфир.

Часть 1. Зависимость испарения от рода жидкостей. Из фильтровальной бумаги вырезают три полоски (10 мм \times 100 мм); на одну из них при помощи измерительной пипетки наливают 0,5 мл воды, на другую — 0,5 мл спирта и на третью — 0,5 мл эфира. Смоченные полоски бумаги прилепляют

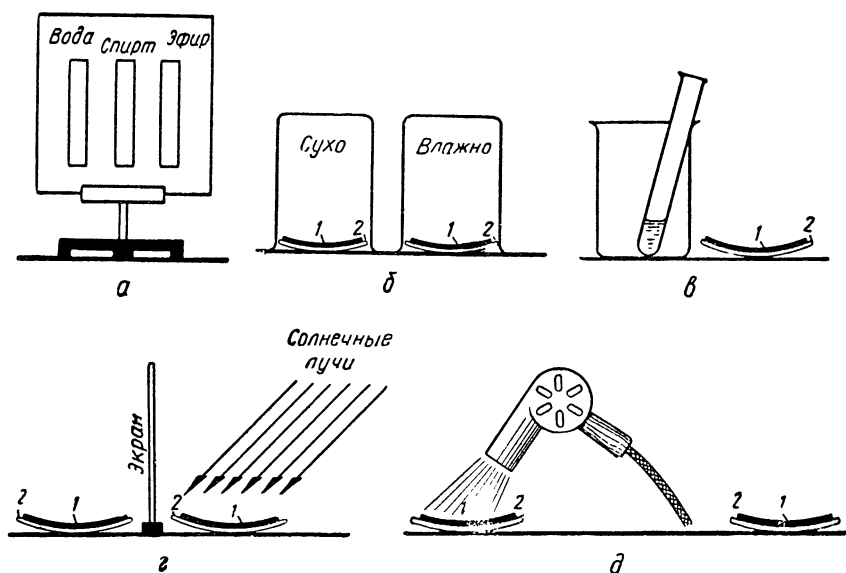


Рис. 101. Скорость испарения зависит от:

а) вида жидкости; б) влажности окружающего воздуха; в) величины испаряющей поверхности; г) температуры; д) перемещения воздуха над испаряющей поверхностью.

к вертикально поставленному матированному стеклу. Они удерживаются на стекле за счет сцепления. По мере высыхания (испарения) бумажки отваливаются в следующем порядке: эфир, спирт, вода, что соответствует скорости испарения жидкостей (рис. 101, а).

Часть 2. Зависимость испарения от степени влажности окружающего воздуха. При помощи пипетки наливают в два часовых стекла равные количества воды.

Часовые стекла покрывают перевернутыми химическими стаканами (рис. 101, б). При этом внутренние стенки одного из стаканов обильно увлажняют так, чтобы на стенке оставались капли воды, другой стакан оставляют совершенно сухим. Обе установки оставляют на некоторое время в теплом месте, периодически ведя наблюдение. Под тем стаканом, который до начала опыта был сухим, фильтровальная бумага высыхает быстрее.

Часть 3. Зависимость испарения от величины испаряющей поверхности. В пробирку и на фильтровальную бумагу, положенную на часовое стекло, наливают при помощи измерительной пипетки по 1 мл эфира (рис. 101, в). Через очень небольшой промежуток времени фильтровальная бумага становится сухой. За то же время в пробирке испарится лишь небольшая часть эфира.

Часть 4. Зависимость испарения от температуры. Два кружка одинакового размера, вырезанные из фильтровальной бумаги, помещают на часовые стекла и увлажняют при помощи пипетки одинаковым количеством эфира. Одно часовое стекло с влажной фильтровальной бумагой ставят в тень, другое — на освещенную солнцем часть стола или окно или, наконец, под низко опущенную лампочку накаливания (рис. 101, г). Влажная фильтровальная бумага, помещенная под воздействие тепловых лучей солнца или лампочки, просохнет быстрее, чем поставленная в тень.

Часть 5. Зависимость испарения от скорости перемещения воздуха над испаряющей поверхностью. Два кружка одинакового размера, вырезанные из фильтровальной бумаги, помещают на часовые стекла. Стекла отставляют на значительное расстояние друг от друга и бумагу увлажняют одинаковым количеством спирта. При помощи малого воздуходувного аппарата, или фена, на один из бумажных листов направляют струю холодного воздуха (рис. 101, д). Фильтровальная бумага, на которую была направлена струя воздуха, очень быстро высыхает, тогда как другой листок бумаги остается влажным.

74. Затрата теплоты на испарение

Широкая пробирка (\varnothing 18 мм); к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; прямоугольно изогнутая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина колен 50 мм и 100 мм); прямая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина 50 мм); резиновый шланг; два химических стакана (550 мл и 100 мл); часовое стекло (\varnothing 50 мм); криофор; деревянная дощечка (5 мм \times 100 мм \times 100 мм); термометр (-10°C — $+50^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); психрометр Августа; малый воздуходувный аппарат, или фен; бумага; вата; нитки; эфир; лед; поваренная соль.

Часть 1. Образование льда при испарении эфира. Широкую пробирку примерно на $\frac{1}{6}$ ее вместимости наполняют водой, поверх которой наливают чистый эфир, слой которого должен быть около 20 мм. Пробирку затыкают резиновой пробкой с двумя отверстиями, в одно из которых вставлена прямая стеклянная трубка, а в другое — трубка, изогнутая под прямым углом. Длинное колено изогнутой трубки должно быть опущено в пробирку так, чтобы конец трубки входил в толщу эфира. На свободный короткий конец прямоугольно изогнутой трубки надевают резиновый шланг и соединяют его с краном газовой городской сети. Пробирку помещают в химический стакан и обкладывают мятой бумагой (рис. 102). Осторожно открывают кран газопровода и пропускают газ через пробирку; при этом он проходит через эфир, и смесь паров эфира с газом выходит из прямой стеклянной трубки. Эту смесь паров поджигают.

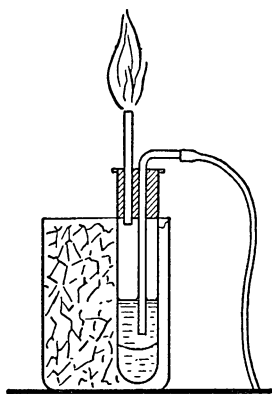


Рис. 102. Замерзание воды, находящейся под слоем испаряющегося эфира.

В результате быстрого испарения эфир настолько охлаждается, что находящийся под ним слой воды промерзает и превращается в лед. Эксперимент удастся только в том случае, если взять чистый эфир, свободный от спирта.

Часть 2. Примерзание часового стекла к подставке при испарении эфира. На деревянную дощечку, положенную на стол, наливают несколько капель воды и на нее ставят часовое стекло. На часовое стекло наливают некоторое количество (10 мл) эфира и на него направляют при помощи воздушодувного аппарата, или фена, струю холодного воздуха. Быстрое испарение эфира приводит к такому его охлаждению, что находящаяся под часовым стеклом вода замерзает и часовое стекло примерзает к дощечке (рис. 103).

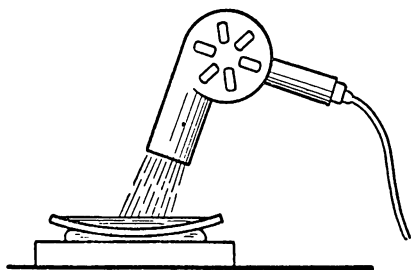


Рис. 103. Примерзание часового стекла, поставленного на каплю воды, при испарении эфира.

Часть 3. Охлаждение термометра при испарении эфира, нанесенного на вату, которой обернут баллончик термометра. Баллончик термометра оборачивают ватой.

Вату обвязывают нитками и увлажняют несколькими каплями эфира. Столбик ртути в капилляре термометра тотчас же начинает опускаться, и термометр показывает температуру значительно ниже комнатной.

Если таким термометром размахивать в воздухе или на него направить струю холодного воздуха из воздухоудного аппарата, или фена, процесс понижения температуры ускоряется, и за короткое время показание термометра стабилизируется (рис. 104).

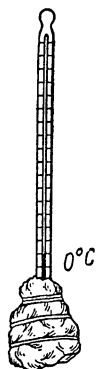


Рис. 104. Понижение показаний термометра при испарении эфира с поверхности баллончика.

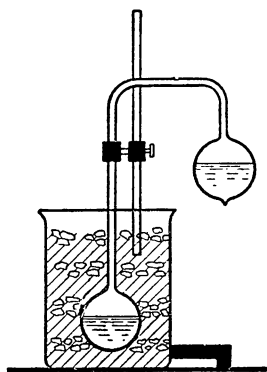


Рис. 105. Замерзание воды в верхнем баллончике криофора.

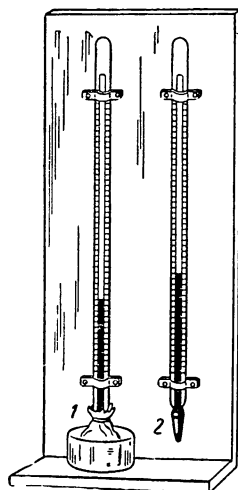


Рис. 106. Психрометр Августа:

1 — смачиваемый термометр; 2 — сухой термометр.

Часть 4. Явление охлаждения в криофоре. Криофор (рис. 105) наклоняют настолько, чтобы большая часть воды перелилась в верхний баллончик. Затем прибор переводят в вертикальное положение и нижний баллончик и большую часть трубки погружают в охлаждающую смесь из колотого льда и поваренной соли. В таком положении, закрепив в лапке штатива, криофор оставляют стоять достаточно длительное время. Водяные пары из верхнего баллончика опускаются в нижний, охлажденный, и это увеличивает испарение воды в верхнем баллончике. Примерно через четверть часа на поверхности воды в верхнем баллончике образуется слой льда.

Примечание

Эксперимент с понижением показания термометра, баллончик которого окутан ватой и смочен эфиром, позволяет объяснить действие психрометра, прибора для определения

влажности воздуха. Простейший психрометр Августа имеет два термометра, баллончик одного из которых обвязан батистом. Под термометр с батистовой оберткой подставляют стаканчик с дистиллированной водой (рис. 106). Под действием капиллярных сил вода увлажняет батист, а затем испаряется с его поверхности. В результате испарения происходит охлаждение баллончика этого термометра, он показывает температуру на несколько градусов ниже, чем второй, сухой. Разность показаний тем больше, чем более сух воздух. Пользуясь специальными психрометрическими таблицами, можно определить как абсолютную, так и относительную влажность воздуха.

75. Калориметрический метод определения удельной теплоты парообразования и конденсации воды

Плоскодонная колба (500 мл); к ней резиновая пробка с одним отверстием; прямоугольно изогнутая трубка (\varnothing 3 мм, длина колен по 50 мм); резиновый шланг; широкогорлая коническая колба (300 мл); к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; прямая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина 60 мм); дважды изогнутая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, с углами изгиба 120° и 60° , длина колен 50 мм и 80 мм, длина средней части 150 мм); калориметр или два химических стакана (1000 мл и 500 мл); три куса пробки; термометр ($0^\circ\text{C} \text{---} +100^\circ\text{C}$, с ценой деления в 1°); два куска картона (400 мм \times 400 мм и 300 мм \times 300 мм); треножник; асбестированная сетка; подставка; весы технические рычажные; разновесы (до 1 кг); бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

Общий вид установки дан на рис. 107. В плоскодонной колбе, наполненной наполовину водой, доводят воду до кипения, после чего колбу закрывают резиновой пробкой со вставленной в нее прямоугольно изогнутой трубкой. На свободный конец трубки надевают резиновый шланг, который идет к прямой стеклянной трубке, вставленной в пробку, закрывающую широкогорлую коническую колбу. Такая колба служит ловушкой для конденсирующейся в трубках воды. Из конической колбы идет дважды изогнутая стеклянная трубка. Ее нужно вставить так, чтобы средняя часть была восходящей. Свободный конец дважды изогнутой трубки погружают достаточно глубоко в воду, налитую во внутренний стакан калориметра. В калориметр погружают тер-

мометр. Между колбой, в которой кипит вода, и конической колбой необходимо поставить картон, служащий тепловым экраном. Второй такой экран помещают между конической колбой и калориметром.

Эксперимент

После сборки установки производят взвешивание внутреннего стакана калориметра и затем наполняют его определенным количеством воды. Измеряют температуру воды в калориметре и после этого водяной пар пропускают через воду, налитую в калориметр. Этот пар должен быть лишен конденсата, для чего он и пропускается через коническую колбу-ловушку.

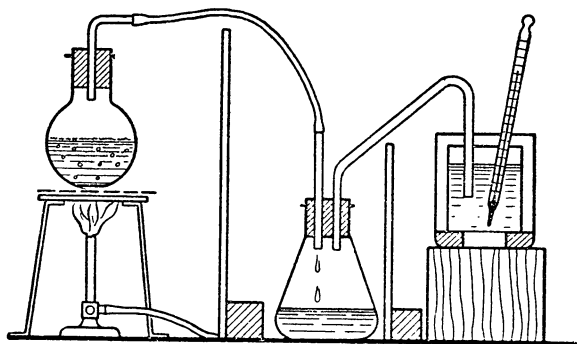


Рис. 107. Определение удельной теплоты парообразования и соответственно конденсации воды.

Попадающий в воду, налитую в калориметр, водяной пар конденсируется, и за счет освобождающейся теплоты вода во внутреннем стакане калориметра нагревается. Как только температура воды повысится примерно до 50°C , резко поднимают коническую колбу и тем самым извлекают из воды дважды изогнутую трубку. Тотчас же измеряют температуру воды в калориметре. Новым взвешиванием калориметра определяют количество конденсата, образовавшегося из направляемого в воду водяного пара.

Порядок измерений

1. Взвешиванием определяют массу калориметра m_k .
2. По разности масс калориметра с водой и без нее определяют массу холодной воды m_1 .
3. Измеряют температуру холодной воды t_1° .
4. Определяют температуру нагретой воды после прекращения подачи пара θ .

5. Определяют массу сконденсировавшейся воды по разности масс воды с калориметром до и после пропускания пара m_2 .

6. Находят из таблиц удельную теплоемкость вещества, из которого сделан внутренний стакан калориметра c_k .

Расчет

Составляют уравнение теплового баланса при теплообмене, обозначив через L удельную теплоту парообразования:

$$L m_2 + c m_2 (100 - \Theta) = c m_2 (\Theta - t_1^\circ) + c_k m_k (\Theta - t_1^\circ),$$

или

$$L m_2 = (c m_1 + c_k m_k) (\Theta - t_1^\circ) - c m_2 (100 - \Theta),$$

откуда

$$L = \frac{(c m_1 + c_k m_k) (\Theta - t_1^\circ) - c m_2 (100 - \Theta)}{m_2}.$$

В этом уравнении c — удельная теплоемкость воды, равная $4200 \text{ дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, или $1 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, c_k — удельная теплоемкость вещества, из которого сделан калориметр.

Примечания

1. При достаточной точности измерений значение удельной теплоты парообразования воды обычно близко к табличному или несколько ниже него, что может быть объяснено попаданием в калориметр вместе с паром мелких капель воды.

2. Удельная теплота парообразования в то же время является и удельной теплотой конденсации.

§ 13. ЗАВИСИМОСТЬ ТОЧКИ КИПЕНИЯ ОТ ДАВЛЕНИЯ

76. Кипение воды при пониженном давлении

Круглодонная колба (500 мл); к ней резиновая пробка с отверстием; стеклянный кран; большой стеклянный сосуд или таз; химический стакан (550 мл); термометр ($0^\circ\text{C} - +100^\circ\text{C}$); бунзеновская горелка; штатив с лапкой для широких трубок; кусок листового стекла (400 мм \times 400 мм); два штатива.

Круглодонную колбу наполняют наполовину водой и затыкают резиновой пробкой со вставленным в нее открытым краном. Колбу укрепляют в лапке штатива так, чтобы под нее можно было поставить бунзеновскую горелку (рис. 108, а). Как только вода в колбе закипит, горелку отставляют и кран тотчас же закры-

вают. Колбу переворачивают и вновь укрепляют в лапке штатива, на этот раз горлышком вниз. Под колбу подставляют большой стеклянный сосуд или таз. В таком положении колбу держат некоторое время, поливая холодной водой, находящийся в ней пар охлаждается и конденсируется. Это приводит к резкому понижению давления, и уже значительно охлажденная вода снова начинает кипеть (рис. 108, б).

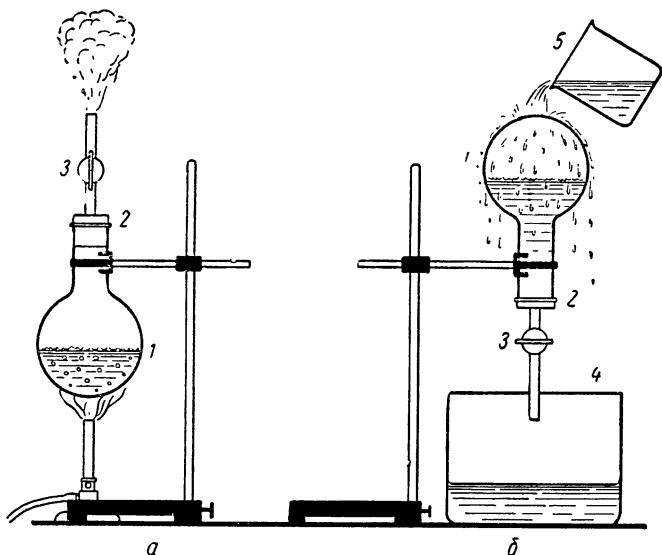


Рис. 108. Кипение при пониженном давлении, созданном охлаждением водяных паров:

1 — колба с водой; 2 — резиновая пробка; 3 — одноходовой кран; 4 — сосуд для приема воды; 5 — стакан с холодной водой.

Примечания

1. При очень резком охлаждении столь же резко внутри колбы понижается давление. Это может привести к взрыву. Подобный взрыв не безопасен, хотя осколки стекла устремляются в колбу, а не разлетаются во все стороны. Чтобы предотвратить взрыв, необходимо, переворачивая колбу, избегать ударов ее о стол или штатив.

2. По окончании эксперимента следует прежде всего открыть кран и пустить в колбу воздух и только после этого разбирать установку.

3. Во время проведения эксперимента целесообразно на демонстрационный стол со стороны, обращенной к аудитории, поставить большое стекло в качестве защитного экрана.

4. Весь эксперимент можно провести под контролем термометра. Для этого в пробку колбы вставляют обычный лабораторный термометр и во все время опыта наблюдают за его показаниями. Это позволит установить, что при пониженном давлении кипение происходит при более низкой температуре, чем точка кипения воды при нормальном давлении. См. также Э-80.

77. Кипение воды при повышенном давлении

Круглодонная широкогорлая колба (500 мл); к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; резиновый шланг (длина 1000 мм); стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина 50 мм); широкая стеклянная воронка; термометр ($0^{\circ}\text{C} - +120^{\circ}\text{C}$, с ценой деления в 1°); кювета или таз; штатив с удлиненной штангой; бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

Собирается установка, изображенная на рис. 109. В резиновую пробку, замыкающую колбу, плотно вставляют термометр в короткую прямую стеклянную трубку так, чтобы ее нижний конец не выступал из пробки (см. деталь рисунка). При наполнении колбы водой под пробкой не должны оставаться пузырьки воздуха. На свободный конец стеклянной трубки надевают резиновый шланг с воронкой. Через воронку шланг наполняют водой. Возникающие в нем пузырьки воздуха нужно удалить, последовательно надавливая на стенки шланга снизу вверх.

Эксперимент

Воду, налитую в круглодонную колбу, доводят до кипения. По термометру определяют температуру кипящей воды. Обычно это температура порядка 102°C , что вызывается повышенным давлением,

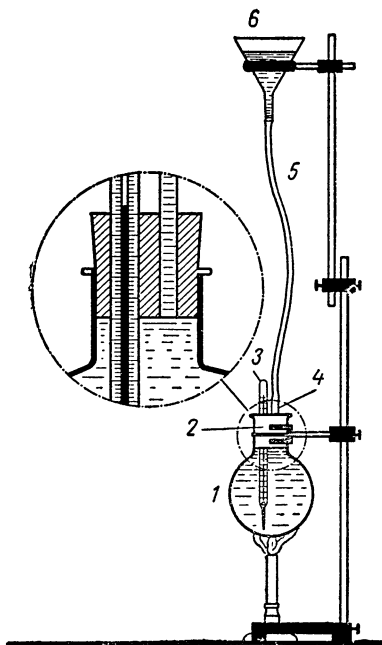


Рис. 109. Кипение при повышенном давлении, созданном столбом жидкости:

1 — колба, наполненная водой; 2 — резиновая пробка; 3 — термометр; 4 — короткая стеклянная трубка; 5 — резиновый шланг; 6 — воронка с водой.

созданным столбом воды, находящейся в резиновом шланге и воронке. Образующиеся в колбе пузырьки пара прорываются через резиновую трубку в воронку. При этом водяной столб может быть выброшен вверх, и вода может вылиться из воронки. Таким образом, вода в воронке на какое-то время будет приподнята, вследствие чего температура кипения тотчас же понизится до нормальной, близкой к 100°C . Однако, как только вода вновь заполнит шланг, создастся повышенное давление, а это приведет к новому повышению точки кипения воды.

Примечания

1. Эксперимент воссоздает картину того, что происходит в гейзерах.

2. Всю установку для проведения эксперимента целесообразно поставить в большую кювету или в неглубокий, но вместительный таз.

78. Взрыв стеклянной микромоде- ли парового котла

Стеклянный шарик, наполненный жидкостью; стеклянная трубка (\varnothing 5 мм, длина 100 мм); металлическая мелкая сетка; три штатива; большой кусок листового стекла (2 мм \times 600 мм \times 1000 мм); бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

Микромодель парового котла — это стеклянный шарик, наполненный жидкостью. Такой шарик можно изготовить самим. Для этого стеклянную трубку запаивают с одного конца и, разогрев на горячем пламени, выдувают шарик \varnothing 30 мм. Его почти полностью наполняют водой, а трубку у самого шарика, сильно разогрев, запаивают. Можно, естественно, воспользоваться и готовым шариком.

На демонстрационном столе со стороны, обращенной к аудитории, устанавливают большой кусок листового стекла (экран), укрепив его в лапке штатива (рис. 110). Экран предохранит учащихся от осколков стекла, образующихся при взрыве стеклянного шарика.

Позади стекла в лапке штатива укрепляют стеклянную рукоятку шарика (рис. 110, деталь). Под шарик подставляют бунзеновскую горелку.

Эксперимент

Шарик прогревают на бунзеновской горелке, едва касаясь его пламенем. Примерно через 20—30 секунд шарик разлетается. Раздается громкий взрыв. Во время взрыва от воздушной волны

обычно гаснет пламя бунзеновской горелки, поэтому тотчас же после взрыва необходимо закрыть кран газопровода.

Стеклянный шарик можно предварительно обернуть мелкоячеистой металлической сеткой, это предотвратит далекий разлет осколков.

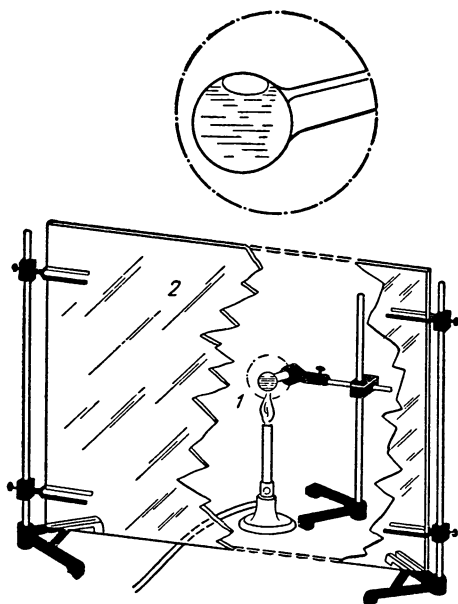


Рис. 110. Взрыв микромодели парового котла:

1 — стеклянная «бомбочка» — микромодель котла; 2 — стеклоэкран.

Примечания

1. Эксперимент следует проводить только при наличии защитного экрана. Стекло экрана должно быть не менее 2 мм толщиной. Экспериментатор должен надеть защитные очки и после зажигания пламени горелки отойти на 3—4 м.

2. Взрыв маленького стеклянного шарика позволяет продемонстрировать возможный взрыв в паровом котле в том случае, если давление в нем превысит допустимое.

79. Получение перегретого пара

Плоскодонная колба (500 мл); к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; прямоугольно изогнутая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина колен 50 мм и 100 мм); железная трубка (\varnothing 50 мм, длина 300 мм); к ней две фарфоровые пробки с корковыми муфточками для введения стеклянных трубок; две прямые стеклянные трубки (\varnothing 3 мм, длина 150 мм и \varnothing 50 мм, длина 300 мм); два термометра (0°C — 110°C и 0°C — 150°C); деревянный пружинный зажим; треножник; асбестированная сетка; две бунзеновские горелки (одна из них с большим числом дюз); подставка; два штатива.

Подготовка эксперимента

Установка для проведения данного эксперимента изображена на рис. 111. Плоскодонную колбу, моделирующую котел, наполняют наполовину водой и устанавливают на асбестированной сетке на треножник. Колбу затыкают резиновой пробкой с двумя

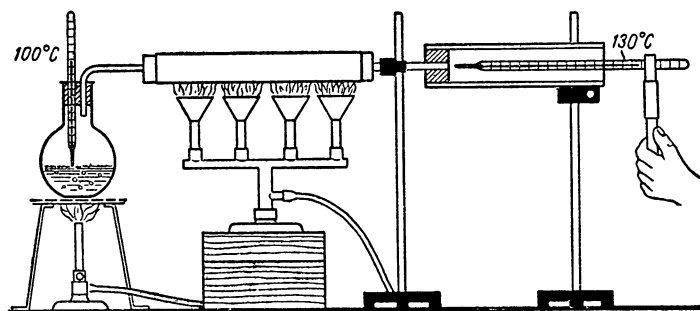


Рис. 111. Получение перегретого пара.

отверстиями. В одно из отверстий пробки помещают термометр (0°C — $+110^{\circ}\text{C}$) так, чтобы баллончик термометра находился почти над самой поверхностью воды, налитой в колбу. В другое отверстие пробки вводят короткое колено прямоугольно изогнутой трубки. Свободный конец трубки вставляют в корковую муфточку фарфоровой пробки, которой заткнут один из концов широкой железной трубы. В корковую муфточку второй фарфоровой пробки, затыкающей другой конец железной трубы, вставляют прямую стеклянную трубку. Эта стеклянная трубка вводится в широкую трубку, закрепленную горизонтально в лапке штатива.

Эксперимент

Воду, налитую в плоскодонную колбу, доводят до кипения. Пар через прямоугольно изогнутую трубку поступает в желез-

ную трубу, которую накачивают на многодюзовой горелке. В железной трубе пар значительно нагревается. Перегретый пар поступает в широкую стеклянную трубку, в которую при помощи деревянного пробиркодержателя вводят второй термометр. Этот термометр показывает температуру перегретого пара, которая обычно на 20—30° выше, чем температура паров над поверхностью кипящей воды.

Техническое значение

Дополнительное нагревание пара является одним из наиболее эффективных способов повышения экономичности паросиловых установок. Паровые турбины и поршневые паролокомобили работают на перегретом (сухом) паре, который получают на специальных установках. Пар из парового котла направляется в сепараторы для сушки, а затем — в ступенчатый паронагреватель, представляющий собой систему трубчатых змеевиков. В локомотиве паронагреватель устанавливают в дымовой коробке или в коробке жаровых труб. В поршневых машинах используется пар, нагретый до 400°—450°C, а в паровых турбинах — даже до 540°C.

89. Кипение при пониженном давлении, созданном столбиком ртути (!)

Широкогорлая колба (500 мл); к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; U-образная трубка (\varnothing 1 мм, длина колен 350 мм и 800 мм); фарфоровая чашка (200 мл); термометр (0°C — 110°C); кювета для проведения опытов со ртутью; два штатива; метровая линейка; бунзеновская горелка; ртуть.

Подготовка эксперимента

Широкогорлую колбу наполняют наполовину водой и укрепляют в лапке штатива на такой высоте, чтобы под нее легко было поместить бунзеновскую горелку. Колбу затыкают резиновой пробкой, в которую вставлены термометр и короткое колено U-образной стеклянной трубки. Баллончик термометра должен находиться над самой поверхностью воды, налитой в колбу. На пламени горелки воду доводят до такого бурного кипения, чтобы около длинного, обращенного вниз колена U-образной трубки явно было бы видно образование тумана от выходящего из ее конца пара (рис. 112).

Эксперимент

Осторожно под свободное открытое колено U-образной трубки подводят фарфоровую чашку со ртутью так, чтобы ко-

нец U-образной трубки погрузился в ртуть. В тот же момент убирают горелку, тем самым прекращая нагревание кипящей воды. Наступающее при этом охлаждение колбы приводит к конденсации находящихся в ней водяных паров. Давление в колбе понижается, и ртуть засасывается в U-образную трубку на некоторую высоту h_1 . Над поверхностью ртути в U-образной трубке образуется слой воды за счет конденсации водяных паров, находящихся в этом колене трубки. Ртуть и вода вместе образуют столбик h_2 , высоту которого можно измерить, приставив к трубке метровую линейку. Нулевое деление шкалы линейки должно совпадать с поверхностью ртути в фарфоровой чаш-

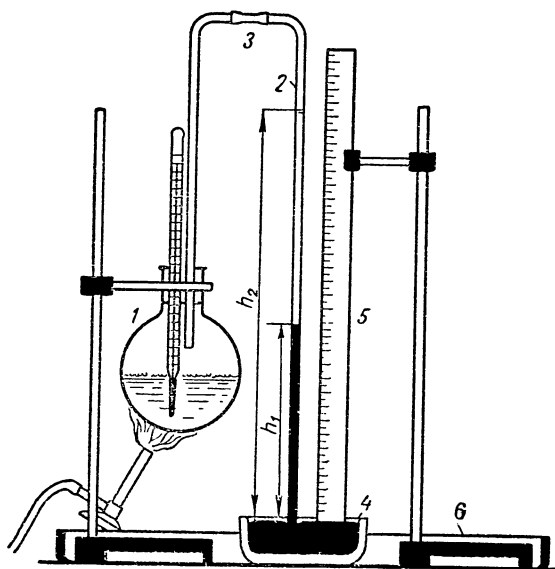


Рис. 112. Кипение при пониженном давлении:
1 — колба с водой; 2 — барометрическая трубка; 3 — резиновая соединительная муфта; 4 — чашка с ртутью; 5 — масштабная линейка; 6 — ванна для опытов с ртутью.

ке. Если после этого снова поднести к колбе горелку, вода закипит, но на этот раз при температуре ниже 100°C , так как в колбе понижено давление.

Эксперимент проводится несколько раз. Наблюдение и запись результатов следует поручить двум ученикам: один проводит нагревание воды в колбе и ведет наблюдение за показаниями термометра, другой измеряет высоты столбов ртути и воды в том колене U-образной трубки, которое погружено в ртуть, налитую в чашечку.

81. Кипение при повышенном давлении в котле Папена (I)

Котел Папена на подставке; тигельные щипцы; бунзеновская горелка.

Котел Папена представляет собой медный цилиндрический котел с выпуклой крышкой, в которую вмонтированы термометр, манометр и рычаг предохранительного клапана. Кроме того, на котле имеется штуцер, через который котел наполняют водой, и отверстие для выпуска пара. Это отверстие прикрывается клапаном, который удерживается рычагом с грузиком. На рейке рычага имеются засечки; по ним можно передвигать грузик рычага вдоль рейки, изменяя расстояние груза до оси вращения рычага и тем самым меняя силу, с которой рычаг прижимает предохранительный клапан. Котел рассчитан на давление пара до трех атмосфер ($3 \times 9,84 \text{ н.м}^{-2}$). Котел устанавливают на высокий треножник так, чтобы под него можно было поставить горелку.

Грузик на рычаге предохранительного клапана устанавливают против отметки на рейке «1,5 атм». Подставив под котел горелку, доводят воду в котле до кипения. Контролируя точку кипения воды, нетрудно убедиться, что она выше 100°C и равна примерно $111,1^\circ\text{C}$. Затем при помощи тигельных щипцов передвигают груз рычага с отметки «1,5 атм» до «3,0 атм», ступенями по 0,5 атм. Каждый раз, как только вода закипит, измеряют температуру ее кипения.

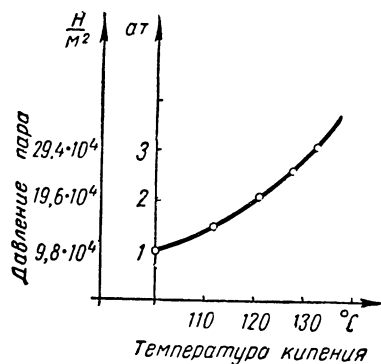
Полученные данные заносят в таблицу и представляют графически зависимость температуры кипения от давления (рис. 113).

Рис. 113. График зависимости точки кипения от давления.

Данные эксперимента позволяют сделать вывод, что с повышением давления на поверхность жидкости повышается температура кипения.

82. Исследование насыщающих паров эфира (I)

Барометрическая трубка ($\varnothing 4 \text{ мм}$, длина 800 мм); метровая линейка с указателем; пипетка с оттянутым и загнутым под прямым углом концом; кювета для проведения опытов с ртутью; пипетка для наполнения барометрических трубок ртутью; штатив; бунзеновская горелка; ртуть; эфир; спирт; ампула хлористого этила.



Подготовка эксперимента

Подготовка эксперимента сводится к наполнению барометрической трубки ртутью.

После того как барометрическая трубка наполнена ртутью и нижний ее конец погружен в чашечку с ртутью, трубку укреп-

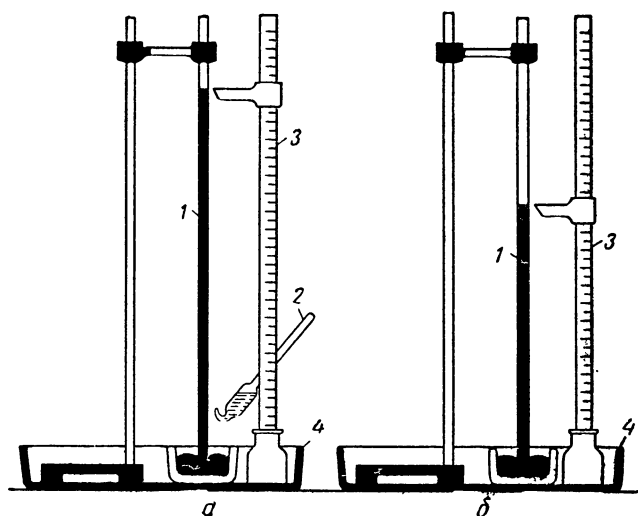


Рис. 114. Исследование давления насыщающих паров эфира: *а* — до введения эфира; *б* — после введения эфира; 1 — барометрическая трубка с ртутью; 2 — пипетка для введения эфира; 3 — масштабная линейка; 4 — ванная для экспериментов с ртутью.

ляют в лапке штатива. Всю установку помещают в кювету для опытов с ртутью. Рядом с трубкой устанавливают в вертикальном положении метровую линейку с указателем (рис. 114, *а*).

Эксперимент

Перемещая указатель по метровой линейке, устанавливают его на высоте, соответствующей уровню ртути в барометрической трубке. Пипетку с изогнутым концом наполняют эфиром и, введя конец пипетки в барометрическую трубку, вдувают 1—2 мл эфира. Эфир проходит через ртуть, заполняющую барометрическую трубку, и попадает в безвоздушное пространство в верхней части трубки, где и испаряется. При испарении эфира наблюдается понижение уровня ртути в барометрической трубке (рис. 114, *б*). Следует ввести такое количество эфира, чтобы он, частично испарившись, все же оставался в жидкой фазе над столбиком ртути. В этом случае можно утверждать,

что в барометрической трубке над ртутью находятся насыщающие пары эфира. Осторожно нагревая верхнюю часть барометрической трубки, нетрудно убедиться, что давление паров возрастает, и под действием этого давления столбик ртути в трубке опускается. И наоборот, при охлаждении верхней части трубки давление паров эфира уменьшается, и уровень ртути в барометрической трубке поднимается. Такое охлаждение трубки можно получить, опрыскивая ее из ампулы хлористым этилом. При охлаждении наблюдается увеличение объема, занятого жидкой фазой.

При любом наклоне барометрической трубки, но при постоянной температуре, объем, занятый парами эфира, изменяется, в то же время высота столбика ртути относительно поверхности стола остается прежней. При этих изменениях положения трубки непрерывно меняется соотношение объема жидкой и газобразной фаз эфира.

Примечание

Вместо эфира можно взять спирт или даже воду. Однако если ранее применялся эфир, то перед проведением последующего опыта барометрическую трубку следует тщательно промыть и просушить. См. также примечание 2 к Э-83.

83. Исследование ненасыщающих паров эфира. Закон Бойля—Мариотта (!)

Стеклянная трубка (Ø 4 мм, длина 1000 мм) со стеклянным краном, впаянным на расстоянии около 100 мм от одного из ее концов; резиновый толстостенный шланг (длина 1500 мм); шарообразная толстостенная воронка; пипетка; метровая линейка с указателем; кювета для проведения опытов с ртутью; два штатива; ртуть; эфир.

Подготовка эксперимента

Длинную стеклянную трубку с краном укрепляют в вертикальном положении в лапке штатива так, чтобы кран находился в верхней части трубки. Нижний конец трубки при помощи толстостенного резинового шланга длиной около полутора метров соединяют с шарообразной толстостенной воронкой, укрепленной в кольце второго штатива (рис. 115). Рядом с вертикально укрепленной стеклянной трубкой ставят метровую линейку с указателем. Открыв кран стеклянной трубки, осторожно наполняют шарообразную воронку ртутью примерно на две трети вместимости. Воронка при этом должна быть опущена в самое нижнее положение. Затем, не закрывая крана, воронку с

ртутью поднимают до тех пор, пока уровень ртути в трубке не повысится до отверстия в кране. В таком положении и закрепляют воронку на штативе.

При помощи пипетки в стеклянную трубку поверх ртути вводят не более 1 мл эфира. Осторожно опуская шарообразную воронку, понижают уровень эфира ниже крана и кран закрывают.

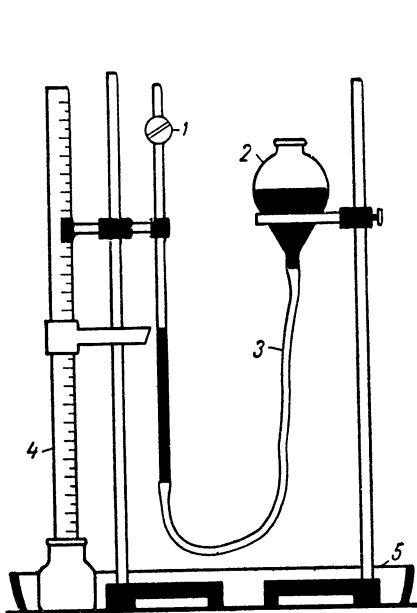


Рис. 115. Исследование давления ненасыщающих паров эфира:

1 — одноходовый стеклянный кран; 2 — уравнительный сосуд с ртутью; 3 — резиновый шланг; 4 — масштабная линейка; 5 — ванна для экспериментов с ртутью.

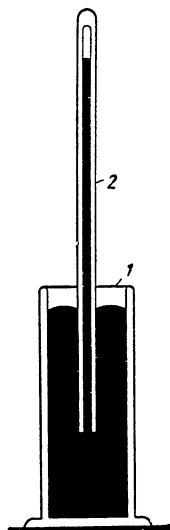


Рис. 115 а. Исследование паров эфира по методу Торричелли:

1 — цилиндр с ртутью; 2 — барометрическая трубка.

Эксперимент

Задача эксперимента: воспроизвести в классической форме проверку закона Бойля. Для этого достаточно опустить шарообразную воронку и тем самым понизить уровень ртути в стеклянной трубке. Эфир испарится, и пространство над ртутью наполнится ненасыщающими парами, о чем можно судить по отсутствию жидкой фазы эфира в трубке.

Изменяя положение шарообразной воронки и соответственно изменяя высоту уровня ртути в трубке, исследуют справедливость уравнения:

$$P_1 v_1 = P_2 v_2,$$

то есть устанавливают обратную пропорциональность между объемом ненасыщающих паров и их давлением (при постоянной температуре и неизменной массе).

Примечания

1. Различные варианты экспериментов, подтверждающих справедливость закона Бойля, см. также во второй части руководства с Э-99 по Э-103.

2. Описанный эксперимент может быть проведен и с барометрической трубкой. Для этого трубку почти полностью наполняют ртутью, а в оставшуюся часть вводят каплю эфира. Опрокидывая трубку, ее открытый конец погружают в ртуть, налитую в высокий цилиндр (рис. 115 а). Изменяя глубину погружения трубки в ртуть, исследуют зависимость объема ненасыщающих паров от давления. На подобной установке можно исследовать также и насыщающие пары.

3. Чтобы обеспечить получение ненасыщающих паров, в этом эксперименте следует брать незначительное количество эфира.

84. Исследование давления паров эфира (парциального давления) при помощи манометра. Закон Дальтона (!)

Толстостенная бутылка (3 л); резиновая пробка к ней с двумя отверстиями; стеклянный кран (\varnothing 6 мм); прямоугельно изогнутая трубка (\varnothing 4 мм, длина колен по 60 мм); ртутный открытый манометр на вертикальной подставке; толстостенный резиновый шланг; воздушный нагнетательный насос-груша; комнатный термометр; кювета для проведения опытов с ртутью; эфир; спирт этиловый; ртуть; таблицы давлений насыщающих паров воды, эфира и других жидкостей.

Часть 1. Толстостенную бутылку затыкают резиновой пробкой, имеющей два отверстия. В одно из отверстий вставляют прямоугельно изогнутую стеклянную трубку, которая при помощи резинового шланга соединяет бутылку с открытым ртутным манометром. В другое отверстие пробки вставляют стеклянный кран, на свободный конец которого надевают резиновую трубку воздушного нагнетательного насоса (рис. 116). В бутылку необходимо ввести 1—2 мл эфира или спирта. Для этого в трубку крана при помощи пипетки вливают эфир или спирт, прежде чем на кран надевают резиновую трубку насоса.

Проверяют положение столбиков ртути в коленях манометра, и так как давление в бутылке было равно атмосферному, то и уровни ртути в обоих коленях одинаковы.

Открыв кран, давя на грушу насоса, вводят эфир внутрь бутылки. Эфир, испаряясь в воздух, находящийся в бутылке, создает дополнительное давление, и это приводит к изменению уровня ртути в манометре.

Пользуясь комнатным термометром, определяют температуру воздуха, а значит, и температуру, при которой произошло испарение эфира. Созданное дополнительное давление соответствует давлению насыщающих паров эфира при данной температуре в случае испарения эфира в вакуум, а не в воздух, наполняющий колбу. Такое давление называется парциальным. Подобный эксперимент может быть проведен не только с эфиром, но и с другими летучими жидкостями.

Часть 2. По закону Дальтона полное давление при постоянной температуре смеси нескольких газов, химически не взаимодействующих друг с другом, равно сумме парциальных давлений, то есть давлений, которые имел бы каждый из данных газов, если бы он заполнял весь объем, занятый их смесью.

Проверку этого закона удобнее всего вести, введя сначала в бутылку этиловый спирт, а затем — эфир. Нетрудно будет убедиться, что общее давление, добавочное к атмосферному, при смешении насыщающих паров этих веществ будет равно сумме давлений, наблюдаемых в первой части эксперимента.

Примечания

1. Эфир или другая испаряющаяся жидкость должны вводиться в таком количестве, чтобы при любой температуре на дне бутылки оставалась жидкая фаза введенного вещества, что и обеспечит получение насыщающих паров.

2. Если нет готового открытого ртутного манометра, то следует сделать самодельный из двух стеклянных трубок, соединенных толстостенным резиновым шлангом. Трубки следует укрепить в лапке штатива, а рядом с ними установить линейку с миллиметровыми делениями.

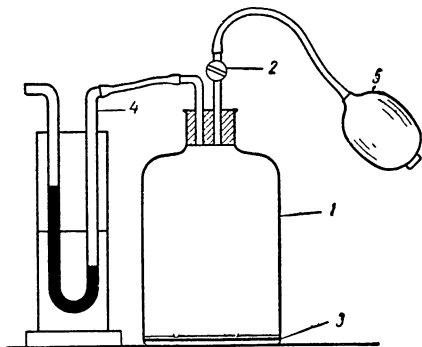


Рис. 116. Исследование давления паров эфира в смеси с воздухом:

1 — толстостенная бутылка; 2 — одноходовый стеклянный кран; 3 — эфир; 4 — манометр; 5 — резиновая груша-насос.

85. Демонстрация давления паров эфира при помощи бьющего фонтана

Колба (1 л); к ней две пробки: одна с одним отверстием, другая с двумя отверстиями; стеклянная трубка с оттянутым концом (\varnothing 3 мм, длина 300 мм); фильтровальная бумага; вата; стеклянный кран; пипетка; нагнетательный насос-груша; эфир.

Вариант 1. Колбу примерно на $\frac{1}{3}$ наполняют водой. Фильтровальную бумагу сжимают в комок и, обильно увлажнив эфиром, бросают внутрь колбы. Колбу тотчас затыкают пробкой со вставленной в нее и доходящей почти до дна колбы стеклянной трубкой. Верхний конец трубки должен быть оттянут. Эфир начинает испаряться и создает в колбе дополнительное давление. Вода поднимается по трубке и бьет фонтаном (рис. 117).

Вместо фильтровальной бумаги можно использовать вату.

Вариант 2. Эфир можно ввести в колбу, наполненную на $\frac{1}{2}$ водой, и при помощи крана. Для этого колбу затыкают пробкой с двумя отверстиями. В одно отверстие вставляют прямую трубку с оттянутым верхним концом и доходящую почти до дна колбы. В другое отверстие вставляют стеклянный кран. В верхнюю, выступающую над телом крана часть трубки при помощи пипетки вводят примерно 1 мл эфира и надевают резиновую грушу-насос. Открыв кран, нажимают на грушу.

Эфир поступает в колбу. Кран тотчас же закрывают. Под действием дополнительного давления паров эфира вода начинает бить из трубки фонтаном.

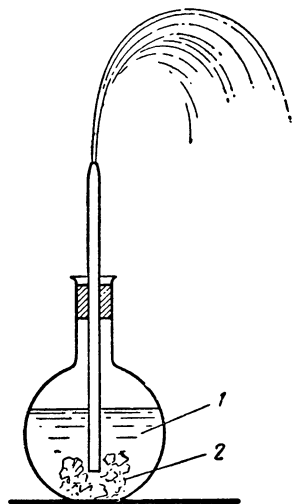


Рис. 117. Фонтан, вызванный давлением паров эфира:

1 — плоскодонная колба с водой; 2 — вата, обильно смоченная эфиром.

86. Сжижение газа (диоксида серы) при пониженной температуре (I)

Широкогорлая колба (500 мл); делительная воронка; стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина 500 мм); широкая U-образная стеклянная трубка; две резиновые пробки, каждая с одним отверстием; три прямоугольно изогну-

тые стеклянные трубки (\varnothing 3 мм, длина колен 50 мм и 100 мм); две прямоугольно изогнутые стеклянные трубки (\varnothing 3 мм, длина колен 100 мм и 350 мм); прямоугольно изогнутая трубка (\varnothing 3 мм, длина колен 100 мм и 200 мм); три прямые стеклянные трубки (\varnothing 3 мм, длина 150 мм); шесть резиновых муфточек для соединения трубок; коническая широкогорлая колба (300 мл); резиновая пробка с двумя отверстиями; химический стакан (1000 мл); стеклянный высокий цилиндр (высота не менее 300 мм); фарфоровая чашка (\varnothing 150 мм); термометр (-30°C — $+50^{\circ}\text{C}$); треножник; бунзеновская горелка; подставка; лед; хлористый кальций; медные стружки; концентрированная серная кислота; песок.

Подготовка эксперимента

Собирают установку, общий вид которой приведен на рис. 118. В колбу, поставленную на песочную баню, насыпают медные стружки. В делительную воронку, вставленную в проб-

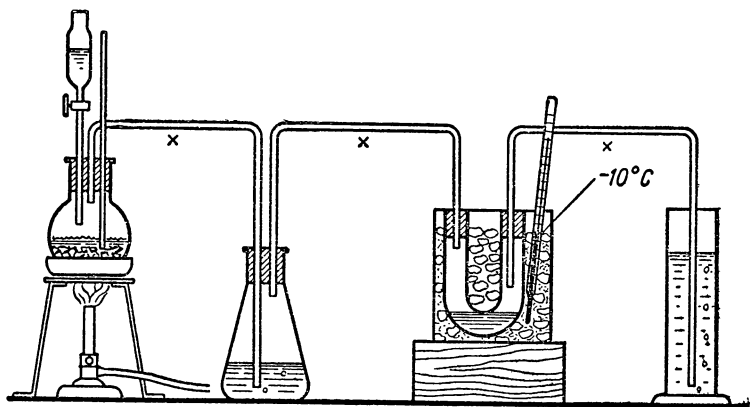


Рис. 118. Сжигание двуокиси серы.

В местах, отмеченных X, целесообразно соединить стеклянные трубки резиновыми муфточками для уменьшения жесткости конструкции.

ку колбы, наливают концентрированную серную кислоту. В коническую колбу или газовую промывалку также наливают серную кислоту. Большой химический стакан заполняют одной из охлаждающих смесей, например мелко истолченным льдом, смешанным с хлористым кальцием. В высокий цилиндр наливают на $\frac{2}{3}$ воду.

Эксперимент

Концентрированной серной кислотой, открыв кран делительной воронки, обильно смачивают медные стружки, насыпанные в широкогорлую колбу. Колбу нагревают на песочной бане. Выделяющаяся двуокись серы должна быть промыта, и поэтому ее пропускают через концентрированную серную кислоту, налитую в коническую колбу или промывалку. Двуокись серы, прошедшую через серную кислоту, направляют в U-образную трубку, погруженную в охлаждающую смесь. Так как температура в U-образной трубке ниже точки парообразования двуокиси серы, то последняя конденсируется и собирается на дне трубки в виде прозрачной жидкости. Не успевшую сконденсироваться двуокись серы направляют в воду, налитую в высокий стеклянный цилиндр, где она и абсорбируется.

Примечания

1. Прямая трубка, доходящая почти до дна колбы с медными стружками, служит предохранителем. В колбе в результате химической реакции между серной кислотой и медью создается повышенное давление, и стеклянная трубка периодически наполняется серной кислотой.

2. Установка, изображенная на рисунке, очень жесткая, вот почему можно рекомендовать в местах, отмеченных знаком X, стеклянные трубки соединять при помощи резиновых муфточек.

87. Получение искусственного льда из жидкой углекислоты (!)

Жидкая углекислота в стальном баллоне; сосуд Дьюара; деревянная или роговая ложечки: матерчатый, лучше фланелевый, мешочек (200 мм×300 мм); шнур; гаечный ключ; два деревянных клина; высокая подставка.

Подготовка эксперимента

Стальной баллон с жидкой углекислотой поднимают на демонстрационный стол и устанавливают в наклонном положении, краном вниз. Под баллон следует подложить подставку высотой не менее 200 мм. По обе стороны баллона подставляют деревянные клинья, предотвращающие перекатывание баллона. Матерчатый мешочек надевают на горловину баллона и плотно обвязывают шнуром (рис. 119).

Эксперимент

При помощи гаечного ключа медленно открывают вентиль баллона. Углекислота вытекает обычно с громким шипением и тотчас же начинает превращаться в твердую углекислоту. Матерчатый мешочек должен быть почти полностью заполнен твердой углекислотой; для этого по мере наполнения мешка по нему резко ударяют небольшой деревянной палочкой. Как только мешочек будет достаточно наполнен, вентиль баллона заворачивают, а сам баллон снимают со стола и устанавливают вертикально. Через несколько минут вентиль баллона следует еще раз тщательно перекрыть, надев на вентиль колпак.

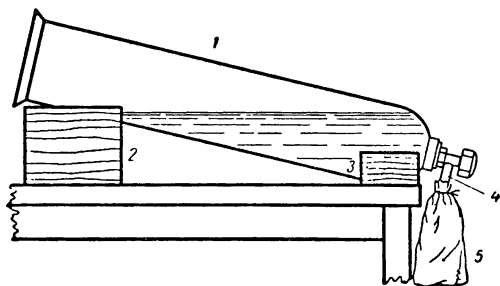


Рис. 119. Получение искусственного снега из жидкой углекислоты:

1 — стальной баллон с жидкой углекислотой; 2 — подставка; 3 — деревянные клинья; 4 — выходной патрубок стального баллона; 5 — мешочек из фланели или другой ткани.

Искусственный снег или лед при помощи роговой ложечки пересыпают в сосуд Дьюара; снег имеет температуру порядка минус 56°C .

Примечания

1. Во избежание взрыва баллон с жидкой углекислотой следует всячески предохранять от падения и резких ударов.

2. Так как вентиль при выпуске жидкой углекислоты резко охлаждается, его не следует касаться руками. Целесообразно применять разводной ключ.

3. Следует помнить, что при соприкосновении с искусственным снегом в течение нескольких секунд на коже могут возникнуть ожоги. Вот почему проведение экспериментов с углекислотой нельзя поручать учащимся.

88. Некоторые эксперименты с твердой углекислотой (1)

Сосуд Дьюара, наполненный твердой углекислотой; железная или фарфоровая ложечка; металлическая банка с многочисленными отверстиями в крышке; небольшой камень (50 г); химический стакан (1000 мл); фарфоровая чашка (Ø 70 мм); железная чашка (Ø 150 мм); тонкостенная пробирка; резиновая трубка; стеклянный толстостенный цилиндр с крышкой (Ø 60 мм, высота — не менее 250 мм); песок; керосин.

Часть 1. Возгонка твердой углекислоты. Металлическую банку с отверстиями в крышке наполняют твердой углекислотой и помещают туда для утяжеления небольшой камень. Банку помещают на дно химического стакана, который наполняют водой. Начинается бурная возгонка углекислоты, и ее пузырьки струйками всплывают на поверхность воды (рис. 120).

Часть 2. Тушение пламени твердой углекислотой. Фарфоровую чашку наполняют керосином и ставят на песок, насыпанный в большую железную чашку. Керосин поджигают и, как только он разгорится ярким пламенем (рис. 121), в него бросают при помощи фарфоровой или железной лопаточки ку-

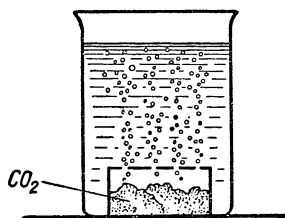


Рис. 120. Испарение твердой углекислоты.

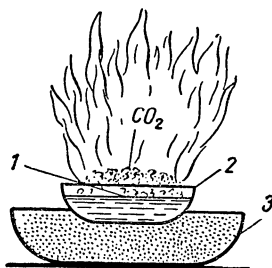


Рис. 121. Гашение пламени горящего керосина при помощи углекислоты:

1 — керосин; 2 — фарфоровая чашка; 3 — железная чашка с песком.

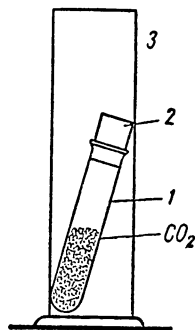


Рис. 122. Взрыв в пробирке, наполненной углекислотой:

1 — пробирка, наполненная углекислотой; 2 — резиновая пробка; 3 — высокий стеклянный цилиндр.

сочки твердой углекислоты. В парах углекислоты за очень короткое время пламя гаснет.

Часть 3. Взрыв стеклянной пробирки при возгонке углекислоты. Тонкостенную пробирку наполняют до половины твердой углекислотой и плотно затыкают резиновой пробкой. Подготовленную таким образом пробирку помещают в толстостенный стеклянный цилиндр, который закрывают крышкой (рис. 122). Через некоторое время в результате возгонки углекислоты возникает такое давление, что пробирка разлетается,

89. Затвердевание ртути в смеси твердой углекислоты с эфиром (!)

Сосуд Дьюара с твердой углекислотой; фарфоровая чашка (\varnothing 100 мм); пробирка; тонкостенная стеклянная трубка, запаянная с одного конца; железная проволока (\varnothing 1 мм, длина 200 мм); высокий стеклянный цилиндр (\varnothing 100 мм, высота 300 мм); стеклянная палочка; молоток; термометр ($-100^{\circ}\text{C} - +30^{\circ}\text{C}$); кювета для проведения опытов со ртутью; твердая углекислота; эфир; ртуть; ацетон; спирт.

В сосуд Дьюара насыпают твердую углекислоту и обильно увлажняют ее эфиром. Смесь необходимо перемешивать стеклянной палочкой до получения густой кашицы. Такая смесь имеет температуру минус 78°C . Пробирку наполовину заполняют ртутью, в которую погружают конец железной проволоки, согнутой под прямым углом. На свободном конце проволоки изгибают петлю. Подготовленную таким образом пробирку со ртутью погружают в охлаждающую смесь. Через некоторое время ртуть затвердевает и превращается в металлическую твердую палочку. При помощи вставленной в ртуть железной проволоки ртутную палочку извлекают из пробирки (рис. 123, а). Палочку из ртути, как любой кусок металла, можно обрабатывать молотком.

Так как пары ртути ядовиты, все действия с твердой ртутью должны быть ограничены по времени. Эксперимент следует проводить над специальной кюветой, по возможности избегая вдыхать ртутные пары. После демонстрации ртутной палочки ее следует за проволоочную петлю подвесить на стеклянную палочку, положенную на рант цилиндра так, чтобы ртутная палочка была в цилиндре (рис. 123, б). Через некоторое время в условиях комнатной температуры ртуть начнет плавиться и каплями стекать на дно цилиндра.

Плавление ртути можно ускорить, для чего в цилиндр, в котором находится ртутная палочка, следует налить теплую воду.

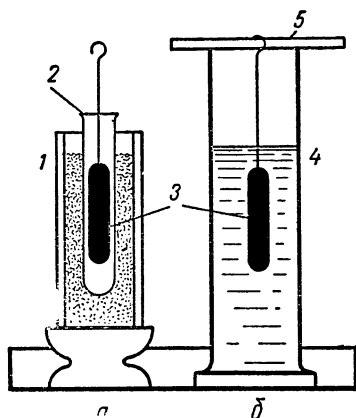


Рис. 123. Затвердевание и плавление ртути:

а — затвердевание ртути в сосуде Дьюара; б — столбик твердой ртути в воде; 1 — сосуд Дьюара; 2 — пробирка с жидкой ртутью и погруженной в нее железной проволокой; 3 — твердая ртуть; 4 — стеклянный цилиндр, наполненный водой; 5 — стеклянная палочка.

И, наоборот, можно ускорить затвердевание ртути, если вместо стеклянной пробирки ртуть налить в тонкостенную железную трубку, запаивную с одного конца.

Примечание

Вместо эфира в качестве второго компонента к твердой углекислоте можно взять ацетон или спирт.

90. Эксперименты с жидким воздухом (!)

Для всей серии экспериментов: большой сосуд Дьюара с жидким воздухом или жидким азотом; небольшой сосуд Дьюара. К эксперименту А: четыре пробирки из иенского стекла* (\varnothing 16 мм); ртуть; спирт этиловый; эфир; глицерин.

К эксперименту Б: живой цветок; яблоко; виноград; нитки.

К эксперименту В: широкий резиновый шланг; колокольчик из свинца; молоток.

К эксперименту Г: три пробирки из иенского стекла; киноварь (HgS); сурик (PbO_4); сера.

К эксперименту Д: деревянные стружки; небольшая природная губка; кусок вязаной ткани; тигельные щипцы.

К эксперименту Е: пробирка; к ней резиновая пробка с двумя отверстиями; прямая стеклянная трубка с оттянутым концом (\varnothing 3 мм, длина 60 мм); прямоугольно изогнутая трубка; резиновый шланг.

К эксперименту Ж: железная проволока (\varnothing 0,15 мм, длина 1000 мм); стеклянная трубка (\varnothing 15 мм, длина 250 мм); лампочка накаливания в патроне (2 в); выключатель; соединительные провода; аккумулятор или автономный агрегат питания.

Общие замечания о работе с жидким воздухом

1. Жидкий воздух необходимо получить с соответствующих баз. Это голубоватая прозрачная жидкость с плотностью около $1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$; температура ее при давлении 760 торр — 192°С .

2. Жидкий воздух можно доставлять в сосудах Дьюара, затыкая их ватной пробкой. Сам сосуд Дьюара должен быть помещен в предохранительную твердую тару и хорошо обложен ватой.

3. Жидкий воздух, закрытый ватной пробкой в сосуде Дьюара, все же испаряется (примерно 0,8 кг в сутки) при температуре окружающего пространства около 15°С .

4. При проведении эксперимента с жидким воздухом может возникнуть необходимость переливания его из одного сосуда в другой. Необходимо следить, чтобы сосуды были совершенно

* Иенское тугоплавкое стекло можно заменить стеклом пайрекс, или химическим лабораторным стеклом. (Прим. перев.)

сухими и чистыми. При наличии в сосуде капель он может взорваться (подобно вакуумной трубке). Вот почему работа с жидким воздухом должна проводиться в защитных очках.

5. Жидкий воздух ни в коем случае нельзя трогать руками, особенно мокрыми, так как это может вызвать явление «ожога холодом» и приведет к образованию на коже пузырей.

6. При работе с жидким воздухом особенно опасно его соприкосновение с жирами, эфиром, ацетоном. Опасность возрастает, если жидкий воздух некоторое время стоял без употребления, так как при этом он обогащается кислородом. При соприкосновении с легкоокисляющимися веществами может произойти взрыв.

7. Не следует допускать попадания в жидкий воздух обрывков ткани, кожи и тем более активированного угля. Все это увеличивает опасность взрыва.

Высказанные предостережения о взрыве (пп. 6 и 7) естественно отпадают, если вместо жидкого воздуха будет применен жидкий азот.

Эксперимент А. Замерзание жидкостей в жидком воздухе

В жидкий воздух медленно погружают одну за другой пробирки из иенского стекла, наполненные ртутью, этиловым спиртом, эфиром или глицерином. Пробирки должны быть сухими и чистыми.

Ртуть почти мгновенно затвердевает, превращаясь в металлическую палочку. Спирт сначала густеет, а затем превращается в аморфную рыхлую массу. Бензин, эфир и глицерин, загустев, затвердевают в плотную, почти твердую массу. Нужно быть осторожным с эфиром и спиртом, так как они горючи.

Эксперимент Б. Поведение влагосодержащих тел в жидком воздухе

Если медленно окунуть в жидкий воздух, подвязав к нитке, живой цветок (розу, тюльпан, георгин), яблоко или виноград, то находящаяся в их клетках вода почти мгновенно превратится в лед, и эти тела станут такими хрупкими, что, падая на пол, они разлетятся на осколки. Особенно эффектен эксперимент с замороженной в жидком воздухе розой. Она разбивается с нежным звоном.

Эксперимент В. Изменение упругих свойств тел в жидком воздухе

Широкая резиновая лента, опущенная на некоторое время в жидкий воздух, теряет свою упругость. Такая лента становится подобна пластинке из непрозрачного стекла. Под ударами молотка она раскалывается на мелкие части.

Еще эффектнее опыт со свинцовым колокольчиком, который нетрудно сделать самим. Такой колокольчик при ударе по нему язычка совершенно не звенит, но если его прежде опустить на 10—15 минут в жидкий воздух, то он будет звенеть так же, как серебряный.

Эксперимент Г. *Изменение цвета веществ в жидком воздухе*

Киноварь, сурик и кристаллическую серу желтого цвета следует насыпать в пробирки из иенского стекла. Пробирки с указанными веществами опускаются на 1—2 минуты в жидкий воздух; при этом можно наблюдать, что красные киноварь и сурик становятся желтыми, а желтая сера — белой.

Эксперимент Д. *Горение веществ, погруженных на время в жидкий воздух*

Тлеющую древесную стружку погружают в жидкий воздух. Она мгновенно вспыхивает ярким пламенем.

Если при помощи тигельных щипцов погрузить на очень короткое время в жидкий воздух кусочек природной губки или хлопчатобумажной ткани и затем, вынув их, поджечь, они ярко вспыхивают, их горение напоминает горение пороха. Следует брать очень небольшие кусочки губки и ткани, но даже и в этом случае эксперимент необходимо проводить осторожно и работать в защитных очках.

Эксперимент Е. *Конденсация углеводорода в жидком воздухе*

Пробирку из иенского стекла затыкают пробкой с двумя отверстиями. В одно отверстие вводят прямоугольно изогнутую трубку, длинный конец которой должен доходить почти до дна пробирки. На свободный конец трубки надевают резиновый шланг, идущий к крану газопровода. Во второе отверстие в пробке вставляют короткую стеклянную трубку с оттянутым концом (рис. 124). Через пробирку пропускают газ и на выходе из короткой оттянутой трубки поджигают его. Затем при помощи тигельных щипцов пробирку, не прекращая подачи газа,

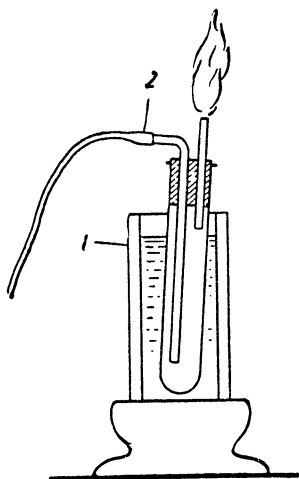


Рис. 124. Конденсация углеводорода при низких температурах:

1 — сосуд Дьюара с жидким воздухом; 2 — шланг, соединенный с краном газопровода.

осторожно погружают в жидкий воздух. Пламя становится бесцветным и резко уменьшается, так как входящие в состав светильного газа углеводороды конденсируются. Как только пробирка будет извлечена из жидкого воздуха, восстанавливается нормальное горение пламени.

Эксперимент Ж. Уменьшение сопротивления проводника, погруженного в жидкий воздух

Составляется электрическая цепь из источника э. д. с. (2 в), электрической лампочки и железной проволоки (рис. 125, а). Длина проволоки должна быть такой, чтобы при включении цепи лампочка едва горела, то есть ее свечение можно было бы заметить только в затемненном помещении. Проволоку следует

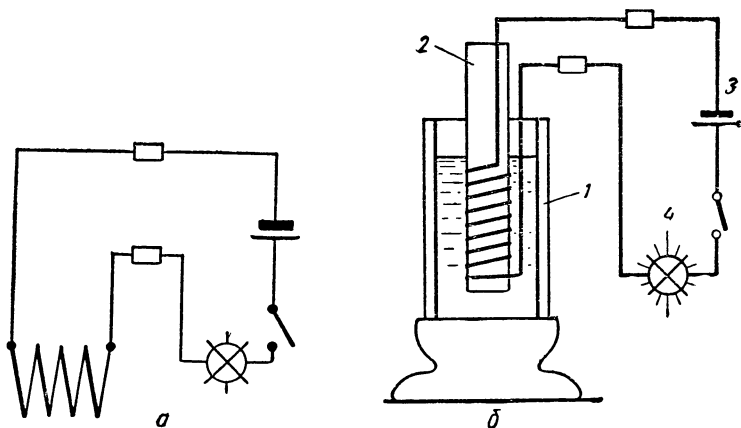


Рис. 125. Понижение сопротивления проволок при понижении температуры:

а — схема электрической цепи; б — общий вид установки; 1 — сосуд Дьюара с жидким воздухом; 2 — проволока, намотанная на фарфоровую трубку; 3 — источник тока; 4 — электрическая лампочка.

намотать в виде спирали на широкую фарфоровую или стеклянную трубку, однако так, чтобы витки спирали не соприкасались друг с другом. При погружении спирали в жидкий воздух, налитый в сосуд Дьюара, горение лампочки заметно усиливается, что указывает на уменьшение сопротивления проволоки (рис. 125, б).

ГЛАВА VI

ПЕРЕДАЧА ТЕПЛОТЫ

§ 14. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА

1. Передача теплоты — это процесс переноса энергии в неравномерно нагретых телах от одной части тела к другой или между телами с различной температурой, разделенных промежуточной средой. Передача теплоты может происходить тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением. Каждый из указанных способов может быть продемонстрирован описанными выше экспериментами.

2. При теплопроводности перенос энергии имеет атомно-молекулярный характер. В твердых телах этот процесс осуществляется за счет непосредственного взаимодействия частиц, составляющих тело, имеющих различную температуру. Мы не приводим описания простейших экспериментов, так как они общеизвестны. Эти эксперименты позволяют разделить вещества на хорошие и плохие проводники теплоты — на теплопроводники и теплоизоляторы. Подобный процесс теплопроводности имеет место и в жидкостях, если они прогреваются только сверху, что исключает явление конвекции. К сожалению, вопросам теплопередачи отводится слишком мало места и времени в курсе элементарной физики, что и лимитирует постановку экспериментов. Вот почему вопросу о теплопроводности газов, процессу происходящему в результате столкновения свободных молекул между собой, мы не могли выделить места в настоящем руководстве. Но зато мы позволили себе включить один эксперимент, Э-91, в котором сравнивается теплопроводность различных металлов по скорости оплавления восковых подвесков или скорости загорания спичек, соприкасающихся с прогреваемыми металлическими полосками, а также и эксперимент 92, где оценка теплопроводности металла дается по изменению окраски термоиндикаторов, и в частности йодной ртути HgJ_2 . Несколько особо стоят эксперименты, в которых применен

двойной термоскоп,— это Э-93 и Э-94. В них показания манометров термоскопа позволяют получить объективные данные о теплопроводности веществ, хотя оба эксперимента остаются качественными. В Э-94 исследуется теплопроводность пластинок одинаковой толщины, но из самых различных веществ. Результаты эксперимента позволяют расположить вещества в определенный ряд по возрастанию или убыванию их теплопроводности.

3. Процесс конвекции — это передача теплоты потоками жидкостей и газов. Такие потоки возникают под влиянием изменения температуры в различных участках этих жидкостей и газов, главным образом при их нагревании снизу. Конвекция рассматривается в целом ряде экспериментов, с Э-95 по Э-98. Все эксперименты рассчитаны на начальный этап изучения курса физики, и проведение их не может вызвать особых трудностей. Естественно, что и здесь из указанных экспериментов преподаватель должен выбрать наиболее соответствующие читаемому им курсу, однако из числа отобранных должны быть такие, в которых демонстрируется конвекция как в жидкостях, так и в газах. В Э-96 рассматривается простейшая модель водогревной системы невысоких жилых домов. Циркуляция воды в такой водогревной системе осуществляется в результате конвекции. Необходимо, однако, отметить, что в многоэтажных домах циркуляция воды в тепловых системах поддерживается не столько конвекцией, сколько работой насосов. В Э-97 демонстрируются тепловые потоки в помещении с одним источником нагревания. Одновременно этот эксперимент позволяет выйти «за стены комнаты» и показать учащимся значение конвекционных потоков в обогревании нашей планеты. На частном примере циркуляции воздушных масс следует показать циркуляцию теплоты из экваториальной зоны Земли в область умеренных широт. Следует восстановить в памяти учащихся материал, пройденный на уроках географии и природоведения, о происхождении ветров, как временно возникающих, так и периодических или постоянных (бризы, муссоны), дующих в одном и том же направлении (пасаты). Таким образом, демонстрация эксперимента 97 позволит расширить связи между курсом физики, географии и природоведения, а также затронуть вопросы климатологии. Особое место занимают эксперименты 98 и 99. В первом из них моделируются дымовые трубы, а в Э-99 — тепловые радиаторы с ребристой поверхностью, обеспечивающие большее соприкосновение конвекционных потоков с нагретым телом. Последний эксперимент позволяет показать и способы ускорения охлаждения тел за счет увеличения их поверхности.

4. Тепловое излучение — это процесс передачи тепла на расстояние. При этом между излучающим телом и теплоприемником может отсутствовать передающая вещественная среда, то

есть может быть вакуум. Здесь основное место занимает эксперимент с вогнутыми зеркалами, Э-100, проведение которого надо считать крайне желательным. Поглощению и излучению теплоты телами различной окраски посвящены эксперименты 101 и 102. Применение двойного термоскопа в Э-103 позволяет получить объективную оценку поглощающей и излучающей способности светло- и темноокрашенных тел. В ряде экспериментов, Э-102, Э-104, Э-105 и Э-106, применен радиометр Крукса (рис. 159).

Простейший радиометр представляет собой кварцевый баллон, из которого частично выкачан воздух. В баллоне на тонкой игле помещена вертушка, на которой укреплены четыре термоизолированных друг от друга крылышка. У каждого крылышка одна из сторон закопчена. Таким образом, поток лучей, вызывающих тепловой эффект, встречает на одном крылышке закопченную поверхность, а на другом, противоположном, — светлую.

Под действием лучей крылышки нагреваются до различной температуры, и молекулы оставшегося в баллоне воздуха, сталкиваясь с зачерненной поверхностью, вылетают из нее с большей скоростью, чем те, которые попадают на светлую поверхность. Следовательно, по третьему закону Ньютона происходит большая отдача количества движения при отскоке молекул, что и приводит вертушку во вращение. Скорость вращения вертушки пропорциональна величине потока тепловой энергии.

В Э-102 исследуется закон Кирхгофа об излучающей и поглощающей способности тел. Эксперимент убедительно показывает, что, чем больше поглощает всякое тело энергии, тем интенсивнее оно ее излучает. Но эксперимент этот чисто качественный; в его задачи входит лишь сравнение результатов, а не измерение поглощающей способности. Эксперимент 104 позволяет исследовать тепловую активность лучей различных участков спектра по воздействию их на радиометр Крукса. Наконец, заключительные эксперименты этого раздела, Э-105 и Э-106, подводят учащихся к качественному ознакомлению с законом Стефана — Больцмана и законом Вина. Оба эксперимента качественные и предназначены для старшей ступени обучения.

В заключительных экспериментах затронута проблема абсолютно черного тела. Значимость вопроса об абсолютно черном теле велика не только для оптики, но не менее важна и в учении о теплоте.

Вот почему мы считаем целесообразным дать простейшую модель абсолютно черного тела, описание которой приводится в примечании к Э-105.

91. Демонстрация теплопроводности веществ при помощи крестовины из различных металлов, спичек или восковых шариков

Четыре полосы — медная, латунная, алюминиевая и железная (каждая 20 мм×100 мм); болтик с гайкой и двумя шайбами (3 мм); дрель со сверлами (1,25 мм); четыре стержня — медный, алюминиевый, железный и стеклянный (3 мм, длина каждого 300 мм); деревянная рейка (10 мм×20 мм×200 мм); деревянная доска (10 мм×300 мм×300 мм); полоска жести (100 мм×110 мм); тонкая проволока (длина 1000 мм); жестяная прямоугольная коробочка-лодочка (внутреннее пространство 3 мм×6 мм×12 мм); небольшая заклепка (3 мм); черпак для плавки воска; химический стакан (500 мл); двенадцать свинцовых дробинок (1 мм); бунзеновская горелка; проволока; штатив; спички; воск.

Вариант 1. Из листового металла вырезают полосы, изображенные на детали рисунка 137. В каждой из полосок просверливают ряд отверстий такого размера, чтобы в них удерживались головки спичек. Полоски соединяют при помощи болтика в крестовину. Полоски следует несколько выгнуть в месте их соединения так, чтобы нижняя поверхность в непосредственной близости от болта лежала в одной плоскости. Полученную крестовину следует подвесить на проволоке к штативу. В высверленные в полосках отверстия вставляют спички их головками (рис. 126).

Под место соединения пластинок подставляют бунзеновскую горелку. По мере прогревания полосок в пламени горелки и распространения вдоль них теплоты одна за другой загораются спички. По тому, в какой последовательности будут загораться спички, можно судить о теплопроводности металлов.

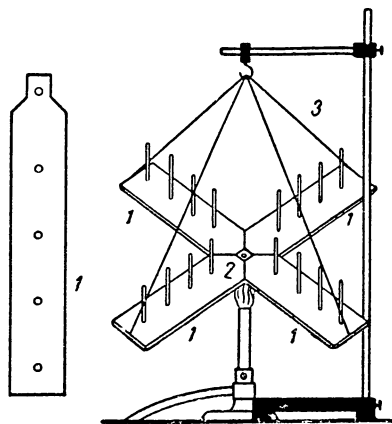


Рис. 126. Демонстрация теплопроводности полосок из различного материала по скорости загорания спичек:

1 — полоски из различного материала со вставленными спичками; 2 — болтик с гайкой, соединяющий полоски; 3 — проволоочный подвес.

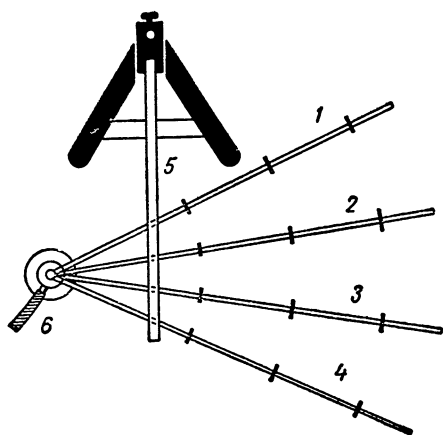


Рис. 127. Сравнение теплопроводности различных материалов при помощи восковых подвесок:

1 — медный стержень; 2 — алюминиевый стержень; 3 — железный стержень; 4 — стеклянная палочка или трубка; 5 — деревянная рейка с отверстиями для стержней; 6 — бунзеновская горелка.

Штрихами указаны места расположения восковых подвесок

Вариант 2. В доске просверливают четыре косых отверстия (рис. 127), вставляют стержни в следующей последовательности: медный, алюминиевый, железный и стеклянный. На стержне по концентрическим окружностям, равноудаленным от сходящихся концов стержней, укрепляют восковые шарики или подвешивают восковые подвески (в местах, отмеченных на рисунке штрихами).

Сходящиеся концы стержней прогревают в пламени горелки, и в силу теплопроводности стержней прикрепленные к ним восковые подвески, оплавляясь, будут отваливаться. По скорости оплавления восковых подвесок можно судить о

теплопроводности веществ, из которых изготовлены стержни.

Доска в этом эксперименте служит не только держателем стержней, но и своеобразным экраном, предотвращающим нагревание восковых подвесок за счет теплового излучения горелки.

Вариант 3. По прилагаемому чертежу (рис. 128, а) из жести вырезают квадратную коробку-подвес с экранирующими

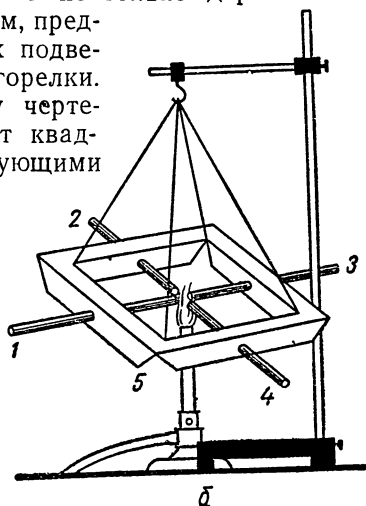


Рис. 128. Сравнение теплопроводности четырех стержней, укрепленных в обойме;

а — выкройка обоймы для крепления стержней (размеры в мм); б — общий вид установки; 1 — медный стержень; 2 — алюминиевый стержень; 3 — железный стержень; 4 — стеклянная палочка или трубка; 5 — обойма.

крыльями. В ее сторонах пробивают или просверливают в указанных на рисунке местах отверстия. По штриховым линиям чертежа выгибают крылья-экраны. В отверстия коробки вставляют исследуемые стержни так, чтобы в средней точке окна они сходились. Готовую коробку со вставленными стержнями подвешивают на четырех проволоках к штативу на такой высоте, которая позволяет подставить под стержни бунзеновскую горелку (рис. 128, б). На выступающие концы стержней подвешивают восковые подвески. Сходящиеся концы стержней прогревают в пламени и, сравнивая время оплавления восковых подвесок, судят о теплопроводности веществ, из которых изготовлены стержни.

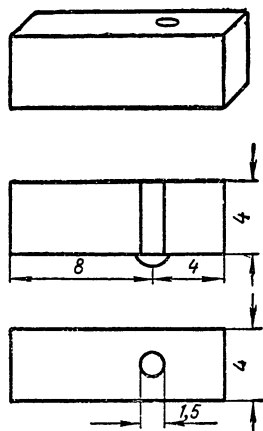


Рис. 129. Лодочка с заклепкой (размеры в мм) для изготовления восковых подвесок.

Изготовление восковых подвесок

а) Подвеска с дробинкой. В плоском сосуде раскладывают на дне, примерно на равном расстоянии друг от друга, двенадцать свинцовых дробинок и небольшими кусочками воска закрепляют их на местах. После этого дробинки заливают слоем расплавленного воска. Слой налитого воска должен быть около 4 мм. После полного остывания получившуюся восковую пластинку разрезают на полоски примерно одинакового размера, но так, чтобы в каждой из вырезанных полосок содержалась одна дробинка. Полоски можно скатать в шарики, которые и прилепляют к исследуемым стержням.

б) Подвеска-лодочка. Из жести изготавливают небольшую лодочку, в дно которой ближе к одной из коротких сторон вставляют заклепку; ее стержень должен входить внутрь лодочки (рис. 129). В такую лодочку вливают воск. После затвердевания воска лодочку на несколько секунд опускают в горячую воду, это позволяет легко извлечь из лодочки восковую подвеску с отверстием. Подвески должны быть одинакового веса.

92. Демонстрация различной теплопроводности при помощи термоиндикаторов

Химический стакан (550 мл); дощечка (80 мм × 90 мм × 150 мм); стержни из различных веществ — меди, цинка, железа, свинца, алюминия и стекла (толщина 3 мм, длина каждого 200 мм); специальная ванночка для исследования теплопроводности; треножник; бунзеновская горелка; йодид ртути и другие термоиндикаторы.

Эксперимент может быть проведен в специальной ванне. Такая ванна представляет собой металлический прямоугольный сосуд с крышкой с отверстиями для стержней. Одно из отверстий оставляется открытым для выхода пара. В ванну наливают воду, нагретую до кипения, и вставляют стержни. Выступающие из ванны концы стержней покрывают одним из термоиндикаторов, например йодидом ртути (HgJ_2). По мере прогревания стержней меняется цвет индикатора, что и позволяет судить о теплопроводности веществ, из которых изготовлены стержни. При надобности такую ванну следует поставить на треножник и подогревать на бунзеновской горелке.

При отсутствии готовой ванны эксперимент следует провести на самодельной установке, используя вместо ванны стеклянный химический стакан, накрываемый крышкой из прессишпана или дерева, в которой просверлены отверстия для стержней. В остальном эксперимент идет так же, как и на готовой ванне.

Примечания

1. Желательно перед каждым экспериментом стержни покрывать новым слоем термоиндикатора, счищая прежний.
2. Воду, в которой нагреваются стержни, можно во время эксперимента подогревать на бунзеновской горелке.
3. Термоиндикаторы см.: часть 6, Э-44, стр. 123—124.

93. Исследование теплопроводности различных металлов при помощи термоскопа

Двойной термоскоп; медный и железный стержни (\varnothing 6 мм, длина каждого 150 мм); одинаковые пробирки; две резиновые пробки к ним, с двумя отверстиями в каждой; прямоугольно изогнутые стеклянные трубки (\varnothing 4 мм, длина колен 80 мм и 60 мм); два резиновых шланга (длина по 400 мм); штатив с двойным держателем; бунзеновская горелка.

Подготовка эксперимента

Две пробирки затыкают резиновыми пробками, в которых прорезано по два отверстия. В одно из отверстий каждой пробки вставляют металлический стержень, в одну пробку — медный, в другую — железный. Стержни должны входить в пробирку примерно на 50 мм. Во второе отверстие пробок вставляют прямоугольно изогнутые стеклянные трубки, которые рези-

новыми шлангами соединяют с кранами двойного термоскопа (рис. 130). Пробирки, заткнутые пробками со вставленными стержнями, укрепляют в двойном держателе или в двух лапках штатива так, чтобы выступающие из пробирок концы стержней сходились вместе на высоте верхней части пламени бунзеновской горелки. Краны термоскопа на некоторое время открывают; при этом жидкость в трубках манометров устанавливается на одном и том же нулевом уровне.

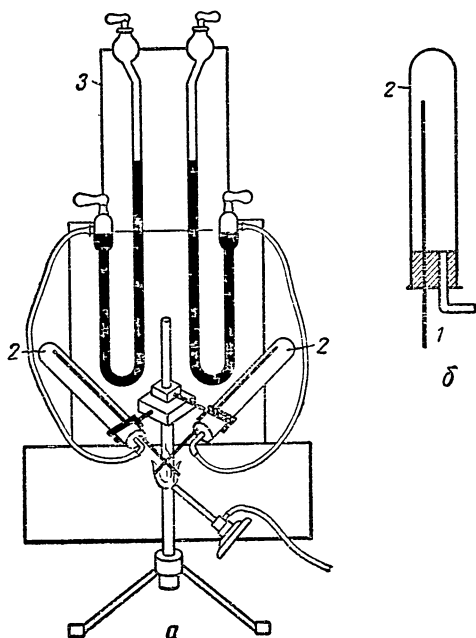


Рис. 130. Теплопроводность пластин из различных материалов:
 а — общий вид установки; б — деталь; 1 — металлический стержень; 2 — теплоприемник-пробирка; 3 — термоскоп.

Эксперимент

В горячей части пламени горелки прогревают сходящиеся концы металлических стержней. Уже через некоторое время видно неравномерное поднятие жидкости в манометрах термоскопа. Это объясняется тем, что стержни прогреваются неодинаково, при этом медный — быстрее железного. По мере прогревания стержней их концы нагревают находящийся в пробирке воздух. Воздух, расширяясь, создает некоторое избыточное давление в манометрах термоскопа. По разности уровней жидкости в манометрах можно судить о теплопроводности веществ, из которых изготовлены стержни.

94. Сравнение теплопроводности различных материалов при помощи термоскопа

Двойной термоскоп; два теплоприемника или две плоскодонные колбы (100 мл); две пробки к ним, каждая с одним отверстием; две стеклянные трубки (\varnothing 4 мм, длина по 100 мм); два химических стакана (150 мл); два резиновых шланга (\varnothing 4 мм, длина по 400 мм); круглые пластинки одинакового диаметра и толщины из различных веществ: меди, алюминия, латуни, железа, стекла и др. (\varnothing 50 мм, толщина 5 мм); два деревянных кружка, один из которых с вертикальным расположением древесного волокна, другой—с горизонтальным (\varnothing 50 мм, толщина 5 мм).

Часть 1. В боковые лапки двойного термоскопа укрепляют теплоприемники или плоскодонные колбы дном кверху.

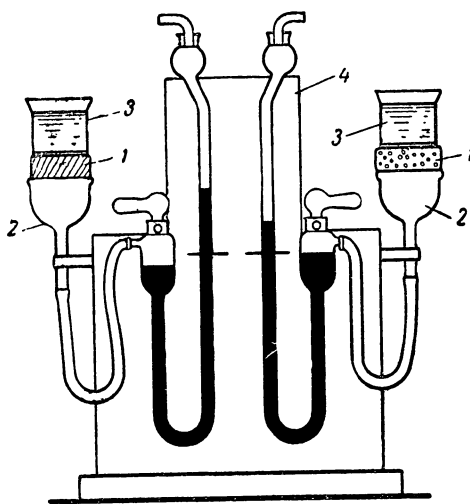


Рис. 131. Определение теплопроводности металлических стержней при помощи термоскопа:

1 — пластины из различного материала; 2 — теплоприемники; 3 — стаканы с горячей водой; 4 — термоскоп.

Теплоприемники или колбы затыкают пробками со вставленными в них короткими стеклянными трубками. При помощи резинового шланга стеклянные трубки соединяют с отводами кранов термоскопа. На днище теплоприемников или колб помещают кружки из исследуемого материала. Кратковременным открыванием кранов выравнивают давление в манометрах термоскопа. Помещенные на днища теплоприемников кружки должны иметь одинаковые диаметры и толщины. На эти кружки ставят химические стаканы, наполненные равным количеством горячей воды (рис. 131).

Уже через некоторое время будет видно, что уровни жидкостей в манометрах термоскопа поднялись на разную высоту; при этом высоты поднятия соответствуют теплопроводности веществ, из которых изготовлены кружки. Таким образом, вещества удастся расположить в соответствующий ряд по их теплопроводности.

Часть 2. Подобным же приемом можно сравнить теплопроводность двух деревянных кружков с различным расположе-

нием в них древесного волокна. Для этого на теплоприемнике или днищах колб устанавливают два деревянных кружка, в одном из которых волокна расположены вертикально, а в другом — горизонтально. При проведении этой части эксперимента в химические стаканы должна быть налита очень горячая вода. В результате эксперимента легко установить, что теплопроводность деревянного кружка с вертикальным расположением волокон значительно выше, чем второго кружка, с горизонтальным расположением волокон.

Примечания

1. Теплоприемники обычно входят в комплект приспособлений термоскопа, но если их нет, то подобные же сосуды легко изготовить в стеклодувной мастерской или, наконец, заменить плоскодонными колбами.

2. При смене кружков во время проведения эксперимента не следует забывать каждый раз выравнивать уровни жидкости в манометрах кратковременным открыванием кранов.

§ 16. КОНВЕКЦИЯ

95. *Переход от теплопроводности к конвекции*

Химический стакан (1000 мл); окрашенный воск; электронагреватель-спираль.

На внутреннюю стенку химического стакана, ближе к его дну, приклеивают небольшим надавливанием кусочек окрашенного воска и стакан наполняют холодной водой. В верхний слой воды погружают электронагреватель так, чтобы в воду были погружены только его витки. Через короткое время после

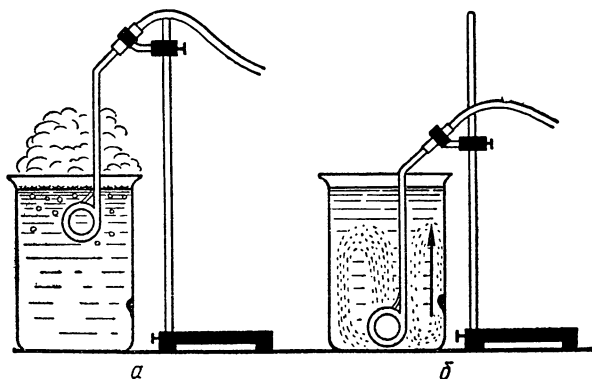


Рис. 132. Теплопроводность и конвекция:

а — нагревание верхнего слоя жидкости; б — нагревание нижнего слоя жидкости. На стенке стакана кусочек воска.

включения тока верхний слой воды закипит. Нижний слой воды, нагреваемый только за счет теплопроводности, достаточно долгое время остается совершенно холодным. Вот почему восковой шарик остается приклеенным к стенке стакана (рис. 132, а). Однако, как только нагреватель будет погружен до самого дна стакана, вода нагреется во всей своей толще, и восковой шарик всплывает на поверхность (рис. 132, б).

96. Конвекционные потоки в воде и модель водяного отопления

Плоскодонная широкогорлая колба (1000 мл); резиновая пробка к ней с двумя отверстиями; прямоугольно изогнутая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина колен 150 мм и 100 мм); прямоугольно изогнутая стеклянная трубка (\varnothing 3 мм, длина колен по 50 мм); четыре стеклянных крана; пять стеклянных тройников; два стеклянных змеевика; шесть прямых стеклянных трубок (\varnothing 3 мм, различной длины); стеклянная воронка (\varnothing 80 мм); резиновый шланг (длина 300 мм); девятнадцать резиновых муфточек; стеклянный прямоугольник из трубок; мелкие деревянные опилки; станиоль; пружинный зажим; нитки; треножник; асбестированная сетка; бунзеновская горелка; два высоких штатива; длинная металлическая штанга (\varnothing 6 мм); перманганат калия.

Моделирование системы водяного отопления

На рис. 133 приведена одна из возможных моделей водонагревательной системы одноэтажного здания. Подобные модели собираются из системы стеклянных трубок, соединенных резиновыми муфточками. Опорным костяком служат лабораторные штативы, соединенные между собой длинным стержнем.

Наполнение системы водой начинают с круглодонной колбы, моделирующей котел водонагревной системы. Затем, после сборки всей установки, ее заполняют водой через воронку, моделирующую компенсационный бак, открыв кран для выпуска воздуха и, наоборот, закрыв запорный кран. Краны радиаторов должны быть открыты. Соблюдение указанного порядка наполнения предотвратит образование в системе воздушных пробок.

После наполнения системы водой открывают запорный кран и нагревают воду в колбе-котле, предварительно внеся в нее завернутые в станиоль кристаллики перманганата калия. По мере нагревания воды она начнет подниматься по стоку и через циркуляционный кран пройдет в верхнюю распределительную го-

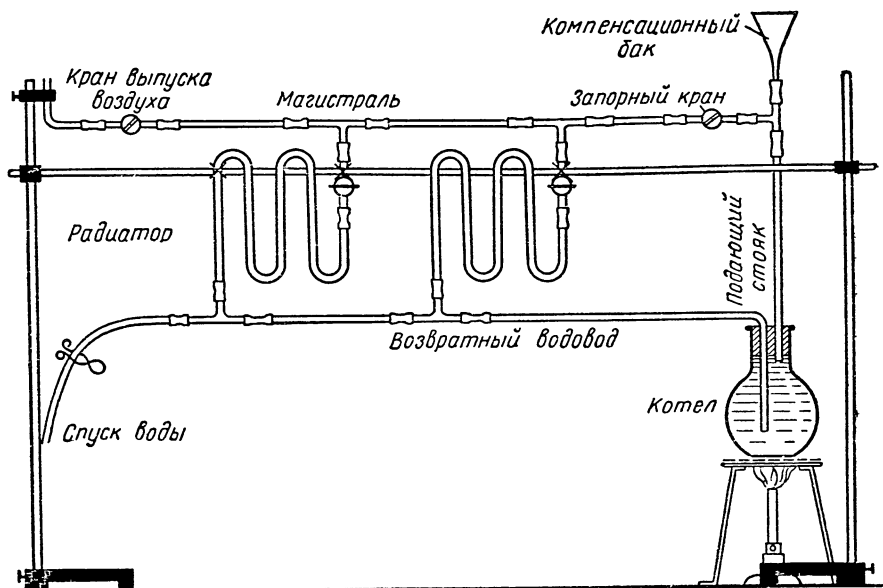


Рис. 133. Стекло́нная модель водяного отопления невысоких соору́жений

ризонтальную трубу-коллектор, из нее — по нисходящим трубам в радиаторы и из них — в нижний собирающий отстойник, а от туда — в котел.

Примечание

В зданиях, обогреваемых от теплоцентралей, вода нагревается не в котле, а в теплообменнике (см. Э-72).

97. Демонстрация тепловых потоков над источником теплоты и в нагретой комнате

Вата; стеклянная коробка без дна (300 мм × 500 мм × 300 мм) или аквариум; железная ложечка для сжигания масла; две деревянные подставки (высота 25 мм); масло; бунзеновская горелка; электрическая плитка; треножник; асбестированная сетка; шнур; осветитель.

В а р и а н т 1. Ватная пушинка над источником теплоты. Небольшой клочок ваты разрыхляют настолько, чтобы он стал похож на пушинку. Под треножником, покрытым асбестированной сеткой, зажигают бунзеновскую горелку или электриче-

скую плитку и после достаточного прогревания сетки вносят в струю восходящего теплого воздуха ватную пушинку. Пушинка в восходящей струе воздуха всплывает вверх. Отнесенная струями в сторону, она начнет снижаться и, наконец, упадет на пол.

В а р и а н т 2. Проекция на экран конвекционных потоков воздуха. Восходящие конвекционные потоки воздуха можно показать и просто в теневой проекции. Для этого достаточно в затемненном помещении зажечь свечку, спичку или спиртовку и поднести их к экрану. На горящую свечку следует направить световой конус от проектора, установленного в противополож-

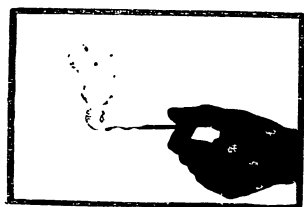


Рис. 134. Теневая проекция восходящих струй воздуха, нагретого пламенем спички.

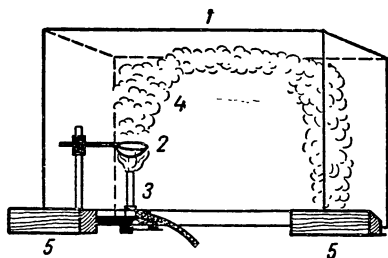


Рис. 135. Моделирование конвекционных потоков в комнате с печным отоплением:

1 — стеклянная коробка; 2 — чашечка с маслом; 3 — горелка; 4 — дым горящего масла; 5 — подкладыши.

ном конце аудитории. Восходящие струи воздуха будут особенно хорошо видны, если свечку или спичку несколько перемещать (рис. 134). Хорошо видны в теневой проекции и восходящие струи над нагретой электроплиткой (см. также получение световых проекций: часть 6, стр. 44, 45).

В а р и а н т 3. Конвекционные потоки в стеклянной модели комнаты. Стеклянную коробку без дна или перевернутый аквариум, моделирующие комнату, устанавливают на столе, подложив под одну из длинных сторон невысокие подставки (рис. 135). Внутри коробки помещают штатив с коротким стержнем, в лапке которого укрепляют железную ложечку, наполненную маслом. Под ложечку устанавливают бунзеновскую горелку.

Прогрев ложку, дают маслу загореться. Образующиеся струйки дыма поднимутся к верхней крышке коробки — «к потолку» и направятся к противоположной стене, опустятся вдоль нее к «полу» и выйдут наружу. Струйки дыма делают видимыми потоки восходящего и нисходящего воздуха.

98. Модель дымовых труб из стеклянных трубок

Две широкие стеклянные трубки (\varnothing 60 мм, длина каждой 250 мм); полоска картона или плотной бумаги (60 мм \times 300 мм); огарок свечи (высотой 40 мм); два деревянных бруска (30 мм \times 30 мм \times 60 мм); пинцет; клей.

Подготовка эксперимента

По ранту одной из стеклянных трубок наклеивают в несколько слоев полоску плотной бумаги или картона так, чтобы получилась втулка, в которую можно было бы вставить вторую трубку (рис. 136). На столе устанавливают два бруска на таком расстоянии друг от друга, чтобы между ними можно было поставить огарок свечи, а на бруски поставить в вертикальном положении стеклянную трубку.

Эксперимент

Свечу, поставленную на стол между брусками, зажигают. На деревянные бруски ставят вертикально стеклянную трубку, имеющую бумажную втулку, так, чтобы свеча оказалась внутри трубки (рис. 136, среднее положение). Как только свеча окажется в стеклянной трубке, ее пламя удлинится. На первую трубку, надставляя ее, ставят вторую (рис. 136, правое положение), пламя свечи удлинится еще более.

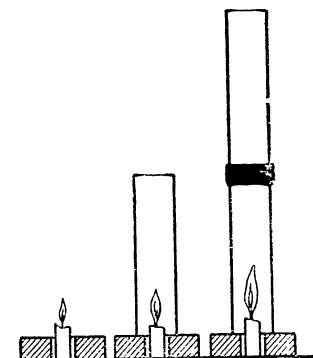


Рис. 136. Моделирование дымовых труб.

Такая двойная стеклянная трубка моделирует дымовую трубу, создающую значительную тягу воздуха. Тягу в трубе можно продемонстрировать и иначе. Для этого при зажженной свече под трубку между брусками вносят ватную пушинку. Такая пушинка тотчас же будет подхвачена струей воздуха, затянута в «трубу» и выброшена из нее вверх.

Но если из-под стеклянной трубки убрать бруски, воздушный поток в трубе прекратится. Такие потоки, естественно, прекратятся и в том случае, если, не убирая брусков, закрыть плотно верхнее отверстие трубки крышкой или картоном.

99. Влияние ребристой поверхности на скорость теплоотдачи

Две глубокие одинаковые консервные банки; двенадцать пластинок из жести (40 мм×60 мм); два термометра (0° С — +10° С).

На двенадцати жестяных пластинках отгибают по их меньшей стороне под прямым углом полочки, и пластинки припаивают к кожуху консервной банки, распределяя равномерно по окружности (рис. 137).

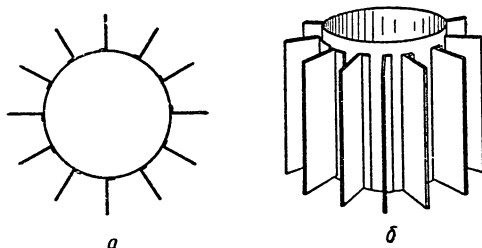


Рис. 137. Увеличение теплоотдачи за счет создания ребристой поверхности:
а — план; б — общий вид модели.

Консервную банку с напаянными пластинками и вторую такую же банку, но без пластинок, наполняют горячей водой с температурой не ниже 80°С. В каждую из банок погружают по термометру. Уже через несколько минут нетрудно установить, что вода в банке с ребристой за счет напаянных пластинок поверхностью, охладилась значительно больше, чем в банке, лишенной ребрышек.

Эксперимент позволяет сделать убедительный вывод, что с увеличением поверхности тела возрастает его теплоотдача.

Примечания

1. В этом эксперименте по существу демонстрируются два процесса: теплопроводность металла и конвекция.

2. Следует указать практическое значение эксперимента. Увеличение теплоотдачи радиаторами водо- и паропитательных систем достигается расчленением батарей радиаторов на отдельные элементы и созданием ребристой поверхности. И то и другое увеличивает площадь соприкосновения нагретого металла с окружающим воздухом, а это ускоряет конвекционные потоки в радиаторах.

100. Получение направленного потока тепловых лучей при помощи сферических зеркал

Два вогнутых металлических зеркала (\varnothing 400 мм); термopа; зеркальный гальванометр; лампочка накаливания в патроне (12 вт, 12 в); соединительные провода; изолирующая планка с двумя контактными винтами; короткая нагревательная спираль; трут; спички; два штатива; четыре струбцины для крепления штативов; батарея аккумуляторов (12 в) или малый агрегат питания.

В а р и а н т 1. Два металлических вогнутых зеркала устанавливают вогнутыми поверхностями навстречу на расстоянии около двух метров и укрепляют в штативах, прижатых струбцинками к столу. В фокусе одного зеркала помещают автомобильную лампочку накаливания (типа К-3 или ПЖ-10). В фокусе другого зеркала помещают небольшой кусочек трута. Лучи, излучаемые лампочкой, отражаясь от зеркала, падают параллельным потоком на другое зеркало и, отразившись от него, пройдут через фокус, где и помещен кусочек трута (рис. 138, а). Трут начинает тлеть.

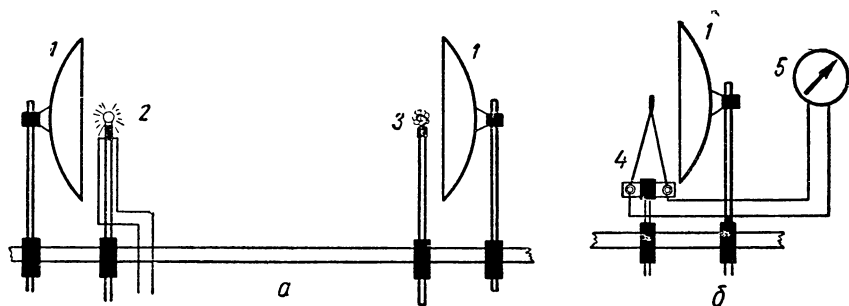


Рис. 138. Передача теплоты лучеиспусканием (зеркало Пито):

1 — вогнутые металлические зеркала; 2 — лампочка накаливания; 3 — легко воспламеняющееся вещество; 4 — термopа; 5 — гальванометр.

Вместо лампочки накаливания можно применить небольшую никелиновую или нихромовую нагревательную спираль, разогрев ее до красного каления от источника питания на 12 в.

Тепловое действие можно значительно увеличить, для чего достаточно сблизить зеркала. При достаточном сближении можно вызвать, например, загорание спички, помещенной в фокусе приемного зеркала.

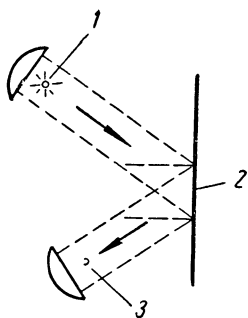


Рис. 139. Отражение лучистой тепловой энергии от зеркал:

1 — передатчик; 2 — плоский отражатель; 3 — приемник.

В а р и а н т 2. Тепловое действие отраженных от второго зеркала лучей можно продемонстрировать и по возникновению термотока в термопаре, помещенной в фокусе второго зеркала (рис. 138, б).

В а р и а н т 3. Отражение тепловых лучей от плоских зеркал можно показать, направляя лучи от вогнутого зеркала на большой лист жести. Поток тепловых лучей, отраженный от листа жести, должен попасть на второе вогнутое зеркало (рис. 139), в фокусе которого может быть помещен любой термоиндикатор из описанных в вариантах 1 и 2 настоящего эксперимента.

П р и м е ч а н и е

Эксперимент, подобный описанному в варианте 3, см. также часть 6, Э-90, стр. 194. (Прим. перев.)

101. Увеличение теплопоглощающей способности тел покрытием их черной краской

Два термометра (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$); черный спиртовой лак; лампочка накаливания (500 вт); штатив с лапками, имеющими корковые прокладки.

Подготовка эксперимента

Баллончик одного из термометров закрашивают черным спиртовым лаком. Оба термометра выставляют под прямой поток солнечных лучей. Через каждую минуту снимают показания термометров. Эксперимент позволяет установить, что скорость нагревания термометров различна. Быстрее нагревается термометр, баллончик которого покрыт был черным лаком (рис. 140).

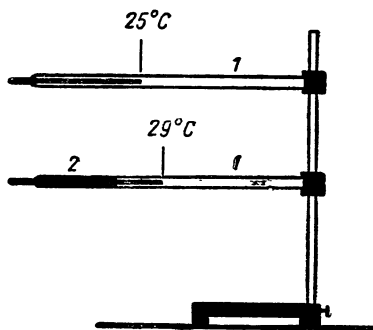


Рис. 140. Влияние зачернения поверхности на тепловосприимчивость:

1 — термометры; 2 — слой черного матового покрытия.

Примечание

Эксперимент может быть проведен не только при наличии прямого солнечного света. Термометры можно облучать и лучами от лампы инфракрасного излучения, а также от обычной лампочки накаливания на 500 вт.

102. Эксперимент, подтверждающий закон Кирхгофа об излучающих и поглощающих свойствах тел

Пробирка; горелка Даниэля; радиометр Крукса; три конические колбы (по 250 мл); два термометра (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$); пипетка; две стеклянные палочки, одна из которых из черного стекла; эфир; алюминиевый порошок, разведенный в бесцветном лаке; лампочка накаливания (150 вт); древесный уголь; терпентин; скипидар.

Часть 1. Яркое свечение раскаленного древесного угля. Небольшой кусочек древесного угля, например от сторевшей спички, помещают в пробирку из тугоплавкого стекла и пробирку с углем накаливают в пламени горелки Даниэля. Несмотря на то что пробирка и уголек накаливаются примерно до одной и той же температуры, стекло пробирки излучает значительно меньше света, чем раскаленный уголек.

Подобным же образом раскаленная палочка из черного стекла излучает значительно более яркий свет, чем палочка из обычного прозрачного стекла.

Вывод: чем больше тело поглощает лучей, тем больше оно и излучает (закон Кирхгофа).

Однако подобный эксперимент с графитом карандаша, взятого вместо угля, не удастся.

Часть 2. Радиометр как индикатор излучения. Радиометр Крукса (рис. 141) освещают лучами достаточно мощной лампочки накаливания. Учащиеся, наблюдая вращение крылатки радиометра, должны запомнить направление вращения.

Затем баллон радиометра из пипетки обливают каплями эфира так, чтобы эфир стекал по баллону со всех сторон. Быстрое испарение эфира вызывает охлаждение баллона. Крылатка радиометра приходит во вращение, однако направление вращения противоположно тому, в котором она вращалась при освещении радиометра световым потоком.

При охлаждении баллона в силу эмиссии черные стороны крылышек охлаждаются больше, чем блестящие, причем охлаждаются все кры-

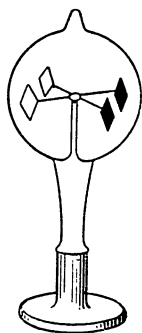


Рис. 141.
Радиометр
Крукса.

лышки. Это и приводит к вращению крылатки. При освещении же радиометра только два крылышка подвергаются воздействию, одно из которых, светлое, отражает падающие на него лучи, другое, темное, их поглощает; следовательно, только одно крылышко и приводит крылатку во вращение. Впрочем, этот процесс более сложен. Молекулы газа, оставшиеся в баллоне радиометра, сталкиваясь с более нагретым крылышком, покидают его с большей скоростью, чем то, которое нагрето менее. Следовательно, более нагретая поверхность в силу закона сохранения импульса получает от отлетающих молекул и больший импульс. Таким образом, при освещении радиометра световым (тепловым) потоком черное крылышко получает больший импульс, чем светлое, это и вызывает вращение крылатки; такое вращение называется прямым. При охлаждении баллона радиометра в силу термоэмиссии белое крылышко получает больший импульс, и это приводит в движение крылатку; такое движение называется обратным.

Часть 3. Зависимость интенсивности излучения от окраски излучающей поверхности.

Берут три конические колбы и поверхность одной из них покрывают копотью, поверхность другой — алюминиевой пудрой, разведенной на бесцветном лаке, и поверхность третьей колбы оставляют чистой. Колбы наполняют равным количеством одинаково нагретой горячей воды. Колбы устанавливают в условиях одинаковой освещенности и в таком месте, где достаточно неподвижен воздух. В каждую из колб помещают термометр. Наблюдение сводится к измерению и записи температуры воды через каждые две-три минуты.

Уже через несколько минут можно установить, что вода в закопченной колбе остыла больше всего и меньше всего — в колбе, покрытой блестящей алюминиевой пудрой.

Примечание

Покрытие копотью от горящего терпентина* или скипидара не следует проводить в закрытом помещении, так как в силу летучести копоти она покроеет и все окружающие предметы. Но и на улице покрытие нужно проводить только в безветренную погоду. Для получения копоти в металлическую коробку, например в консервную банку, кладут тампон ваты и обильно поливают его скипидаром или спиртовым раствором терпентина, а затем поджигают. Скипидар горит обильно коптящим пламенем. Колбу, надев горлышком на длинную рейку, вносят в облако копоти

* *Терпентин*, или *живица*, — смолистое вещество, выделяющееся при ранении стволов хвойных деревьев. Терпентин содержит до 38% скипидара. Идет на изготовление скипидара и канифоли. (Прим. перев.)

и постепенно вращают, чтобы достичь равномерного покрытия. Горящий скипидар или терпентин следует тушить песком.

103. Излучение и поглощение тепловых лучей светлыми и темными поверхностями

Двойной термоскоп; высокий металлический сосуд (500 мл); два блестящих металлических теплоприемника (250 мл); два резиновых шланга (длина по 400 мм); три плоскодонные колбы (1 на 550 мл и 2 по 250 мл); три пробки к ним; две прямоугольно изогнутые трубки (Ø 3 мм, длина колен по 50 мм); высокая подставка; термоизолирующая подставка; два штатива, терпентин или скипидар.

Подготовка эксперимента

Позади двойного термоскопа на высокой подставке устанавливают металлический блестящий сосуд, одна сторона которого, однако, покрыта копотью. По обе стороны от него и на равном расстоянии устанавливают два блестящих теплоприемника. Один теплоприемник должен стоять против блестящей, а другой — против закопченной стороны среднего металлического сосуда. Теплоприемники соединяют резиновыми шлангами с краями манометров термоскопа. Открывая на короткое время краны, выравнивают давление в манометрах (рис. 142).

Эксперимент

Часть 1. В стоящий посередине высокий металлический сосуд наливают воду, температура которой должна быть близка к 100°C , и сосуд закрывают пробкой. Через 2—3 минуты измеряют высоту уровней в трубках манометров термоскопа и по результатам измерения устанавливают, что в манометре, соединенном с теплоприемником, расположенным против закопченной стороны среднего сосуда с горячей водой, уровень жидкости поднялся значительно выше, чем в манометре, соединенном с теплоприемником, обращенным к блестящей стороне среднего сосуда.

Вывод: тепловое излучение черной, закопченной поверхности больше, чем излучение светлой, блестящей поверхности.

Часть 2. Прежде чем проводить эту часть эксперимента, следует тщательно очистить высокий сосуд от копоти, так, чтобы вся его поверхность блестела. Но зато следует закоптить один

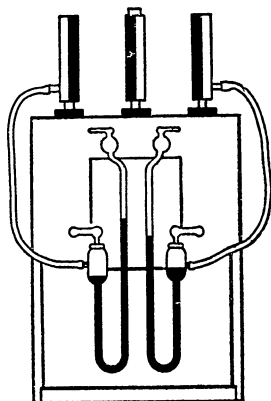


Рис. 142. Сравнение теплового излучения закопченной и блестящей поверхностей.

из теплоприемников. Средний, высокий сосуд наполняют горячей водой так же, как и в первой части эксперимента. Два теплоприемника размещают по обеим сторонам среднего сосуда. В этой части эксперимента средний сосуд будет равномерно излучать теплоту во все стороны. В то же время теплоприемники, один из которых закопчен, получая равные порции теплоты, будут нагреваться различно.

Уже через 2—3 минуты нетрудно будет установить, что уровень жидкости в манометре, соединенном с закопченным теплоприемником, значительно выше, чем во втором манометре, соединенном с блестящим теплоприемником.

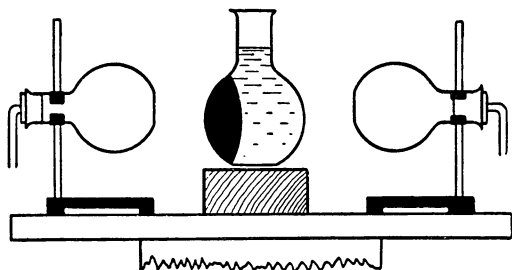


Рис. 143. Сравнение теплового излучения закопченной и блестящей поверхностей. Самодельный вариант установки.

Вывод: черная, закопченная поверхность нагревается значительно больше, чем светлая, блестящая.

Сопоставление результатов обеих частей эксперимента позволяет утверждать, что высоты поднятия жидкости в манометрах термоскопа при проведении первой части эксперимента соответствуют высотам поднятия жидкости при проведении второй части эксперимента, если начальная температура излучающего тела одна и та же.

Общий вывод: величина теплового излучения — эмиссия теплоты — пропорциональна величине теплового поглощения — абсорбции теплоты.

В а р и а н т у с т а н о в к и

При отсутствии готовых блестящих сосудов и металлических теплоприемников их можно заменить тремя колбами (рис. 143). В качестве излучателя берется колба достаточно большой емкости, в которую наливают горячую воду. Колбу следует поставить на термоизолирующую подставку. Теплоприемниками будут две плоскодонные колбы меньшей емкости, закрепленные в лапке штатива. Весь ход эксперимента остается прежним.

П р и м е ч а н и е

Покрытие сосудов копотью см. в Э-102.

104. Температурная характеристика отдельных участков спектра

Стеклянная пустотелая призма, наполненная сероуглеродом; осветитель, или оптическая скамья, или проектор; щелевая диафрагма; двояковыпуклая линза ($F=500$ мм); экран (400 мм \times 400 мм); радиометр Крукса; батарея термоэлементов; зеркальный гальванометр; автономный агрегат питания или другой источник тока, рассчитанный на напряжение, потребляемое осветителями.

Подготовка эксперимента

Для получения спектра используется пустотелая призма, наполненная сероуглеродом. На такую призму направляют световой поток от проектора, оснащенного либо кинолампой (К-8 или

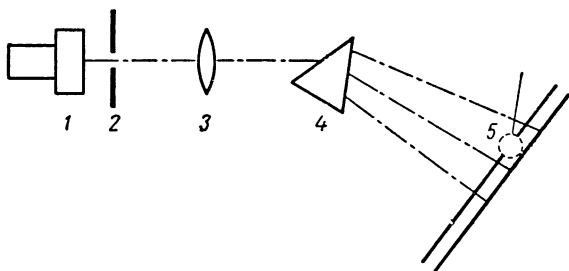


Рис. 144. Исследование при помощи радиометра температурного действия различных участков спектра:

1 — источник света; 2 — диафрагма; 3 — двояковыпуклая линза; 4 — призма; 5 — перемещающийся радиометр.

К-22), либо вольтовой дугой. Между проектором и призмой устанавливают щелевую диафрагму и двояковыпуклую собирающую линзу. Линзу следует поместить на таком расстоянии от проектора, чтобы изображение нити лампочки или кратера вольтовой дуги совпадало с оптическим центром линзы.

На расстоянии около одного метра от призмы помещают экран под некоторым углом к оптической оси собранной установки (рис. 144). Перемещением диафрагмы и линзы относительно призмы добиваются получения на экране четкой картины спектра.

Эксперимент

В а р и а н т 1. Радиометр постепенно перемещают в непосредственной близости от экрана через спектр, идя от его фиолетовой части к красной и уходя за последнюю.

По тому, какая часть спектра закрывается на экране тенью от зачерненного лепестка, можно судить и о воздействующем на лепесток радиометра свете. По скорости вращения радиометра судят об энергии, которую несет данная часть спектра.

Результаты эксперимента позволяют сделать вывод, что наибольшим тепловым воздействием обладают невидимые лучи, лежащие сразу за красной частью спектра и получившие название инфракрасных.

В а р и а н т 2. Вместо радиометра для получения еще более объективных данных можно использовать батарею термоэлементов, соединенную с зеркальным гальванометром. О тепловом воздействии той или иной части спектра судят по величине отброса стрелки гальванометра. Эксперимент, проведенный в этом варианте, приводит наблюдателя к тому же выводу, который был получен при применении радиометра.

П р и м е ч а н и я

1. Относительно получения спектров см. также: часть 6, стр. 181—183, рис. 142, Э-82, Э-83.

2. Вместо проектора со снятым объективом можно использовать оптическую скамью (см. часть 6, стр. 27—29) или осветитель (см. там же, стр. 34).

3. Типы ламп см.: часть 6, стр. 17.

105. Качественный эксперимент, демонстрирующий закон Стефана—Больцмана

Осветитель или проектор с электрической лампочкой (12 в, 6 а, типа К-3 или К-10); двояковыпуклая линза ($F=500$ мм); радиометр Крукса; секундомер; картон; белый экран; черная спиртовая краска; малый агрегат питания или ступенчатый трансформатор.

О б щ и е з а м е ч а н и я

Согласно закону Стефана—Больцмана полное излучение абсолютно черного тела пропорционально четвертой степени его абсолютной температуры:

$$E \approx T^4;$$

из этого закона следует, что при росте температуры излучаемая энергия резко возрастает. Так, например, при температуре 546°C энергия излучения в 81 раз превосходит таковую при 0°C .

В рамках экспериментов по курсу элементарной физики не представляется возможности полного исследования закона Стефана—Больцмана. Однако закон может быть исследован качественно. При пользовании осветителем даже незначительное

увеличение температуры раскаленной нити лампочки накаливания значительно увеличивает энергию ее излучения. Вот это явление и служит предметом исследования в данном эксперименте.

Подготовка эксперимента

При помощи двояковыпуклой собирающей линзы, помещенной перед осветителем, получают на экране, отставленном на полтора метра, четкое изображение раскаленной нити лампочки проектора, рассчитанной на напряжение 12 в. Экран убирают и

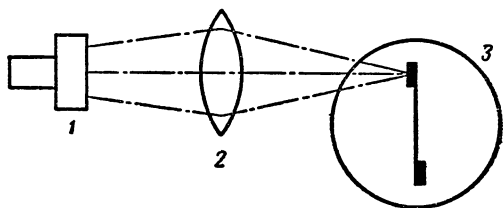


Рис. 145. Качественное исследование зависимости интенсивности излучения от степени нагретости излучателя:

1 — проектор с регулируемым накалом нити лампочки; 2 — линза; 3 — радиометр.

на его место помещают радиометр так, чтобы зачерненный лепесток крылатки, по возможности, точно был установлен в месте ранее полученного на экране изображения раскаленной нити.

На лампочку осветителя подается ток от малого агрегата питания, или ступенчатого трансформатора. Напряжение должно быть регулируемым ступенями по два вольта.

После сборки установки следует проверить правильность размещения линзы и радиометра. При правильном размещении приборов крылатка радиометра приходит во вращательное движение, как только будет подан электрический ток на лампочку осветителя (рис. 145).

Эксперимент

Подав электрический ток с напряжением 10 в на лампочку осветителя, по секундомеру определяют время, за которое крылатка радиометра совершит 10 оборотов. Измерение проводят не менее пяти раз и берут среднее значение. Затем изменяют напряжение, подаваемое на лампочку, повысив его на 2 в. При этом температура накала волоска лампочки возрастет. Пользуясь секундомером, вновь определяют пятикратно время, необходимое для 10 оборотов крылатки. Убеждаются, что время резко сократилось.

На основании одного из экспериментов были получены следующие данные: при напряжении 10 в среднее время, за кото-

рое крылатка совершила 10 оборотов, было равно 43,5 сек, а при напряжении 12 в — всего 12,5 сек. Таким образом, отношение времен равно $43,5 : 12,5 \approx 3,5 : 1$. Так как частота вращения крылатки радиометра пропорциональна падающей на него энергии, то можно сделать вывод, что и излучаемая энергия возросла в 3,5 раза.

Эксперимент подтверждает уже высказанное положение: даже незначительное увеличение температуры нити накала значительно увеличивает излучаемую энергию.

Примечания

1. В законе Стефана — Больцмана устанавливается зависимость излучения абсолютно черного тела от температуры. Тем самым понятие «черное тело» — это не только оптическое понятие, но и энергетическое — тепловое.

Можно предложить простейшую модель абсолютно черного тела. Для этого из картона изготавливают модель прямого параллелепипеда со сторонами 100 мм × 100 мм × 400 мм. Прежде чем склеить модель, ее внутренние стороны покрывают черной, лучше спиртовой, краской и в одной из малых сторон вырезают круглое отверстие с диаметром около 12 мм. Эту малую сторону по краям полученного отверстия также тщательно окрашивают в черный цвет. Модель склеивают. Отверстие в малой стороне при любом положении модели и любом освещении будет казаться черным или, во всяком случае, чернее окружающей его плоскости.

2. Описание автономного агрегата питания и ступенчатого трансформатора см.: часть 4, стр. 21 и 25; описание ламп — часть 6, стр. 16, 17.

106. Качественный эксперимент, демонстрирующий закон Вина

Дуговая лампа; осветитель или проектор с лампочкой накаливания (12 в, 4 а, типа К-8 или К-10); двояковыпуклая линза (\varnothing 40 мм, $F = 120$ мм); радиометр Крукса; секундомер; стеклянная кювета с плоскопараллельными гранями; черная бумага; белый экран; раствор йода в сероуглероде; автономный агрегат питания, или ступенчатый трансформатор.

Общие замечания

По закону смещения Вина максимум излучения энергии при возрастании абсолютных температур источника излучения сме-

щается в сторону коротких волн. Обычное выражение закона смещения Вина представлено уравнением

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

где b — 0,2898 см.град,

или

$$\lambda'_{\max} T_1 = \lambda''_{\max} T_2.$$

Следует отметить, что максимум теплового излучения нити лампочки накаливания находится в невидимой инфракрасной части спектра (температура накала порядка 2400° К, что соответствует длинам волн порядка 1200 мкм), а максимум теплового излучения Солнца лежит в видимой части спектра (температура поверхности Солнца порядка 5700° К, что соответствует длинам волн порядка всего 440 мкм).

Эксперимент

Часть 1. Лист черной бумаги помещают в фокусе двояковыпуклой линзы, которая собирает солнечные лучи в одну точку. Уже через некоторое время бумага начинает обугливаться. Однако, если перед линзой в поток солнечных лучей поместить кювету с плоскопараллельными гранями, наполненную почти непрозрачным раствором йода в сероуглероде, этого не произойдет.

Часть 2. Изображение раскаленной нити лампочки накаливания осветителя или проектора отбрасывают на зачерненное крылышко радиометра (см. подготовку к предыдущему эксперименту). По секундомеру определяют время, за которое крылатка радиометра под воздействием излучения раскаленной нити лампочки совершит 10 оборотов. Затем между осветителем и линзой помещают кювету с плоскопараллельными гранями, наполненную почти непрозрачным раствором йода в сероуглероде. Вновь измеряют время, за которое крылатка радиометра совершит 10 оборотов. Сравнивая время вращения до установки кюветы с раствором и после, замечают, что время вращения возросло лишь незначительно.

Сопоставление результатов первой и второй частей эксперимента позволяет сделать вывод, что энергетическая активность излучения Солнца падает на видимую часть спектра, и эта энергия поглощается жидкостным фильтром, например раствором йода в сероуглероде, непрозрачным для видимых лучей; энергетическая активность излучения раскаленной нити лампочки накаливания, однако, лежит в невидимой части спектра в области инфракрасного излучения, так как, несмотря на поглощение видимых лучей жидкостным фильтром, скорость вращения кры-

латки радиометра почти не изменяется, следовательно, не изменяется и активность излучения.

Часть 3. Как и во второй части эксперимента, изображение раскаленной нити лампочки накаливания осветителя отбрасывается на зачерненный лепесток крылатки радиометра. После проверки установки и контрольного измерения времени вращения крылатки при нормальном напряжении ток на время выключают, после чего на лампочку вновь подают ток, но ступенями — по 2 в. Если лампочка рассчитана на 12 в, то вначале подают всего 2 в, затем — 4 в и т. д. Для каждой ступени напряжения при помощи секундомера определяют время, за которое крылатка радиометра совершит 10 оборотов. Одновременно для каждой ступени напряжения определяют на глаз свет раскаленной нити. Для этого, подав ток на лампочку, перед радиометром ставят небольшой белый экран. Легко установить, что цвет нити в лампочке постепенно меняется от пурпурно-красного через желтый к белому. Следует перейти указанное в паспорте лампочки напряжение еще на 2 в; это позволит убедиться, что при некотором перенакаливании нити она испускает слепящий белый цвет.

Часть 4. Изображение кратера дуговой лампы при помощи собирающей линзы отбрасывают на экран. Наиболее холодную часть кратера положительного электрода легко определить по ее красноватой окраске. И то, что красноватая окраска соответствует наиболее холодной части кратера, можно установить, наблюдая за изображением кратера на белом экране сразу же после отключения дуги от источника тока. За очень короткое время остывания часть угля, ранее добела раскаленная, прежде чем погаснуть, пройдет через ряд оттенков от белого через оранжевый до красного, соответствующего излучению наиболее длинных волн.

Некоторые общие выводы

Все частные опыты, объединенные этим экспериментом, подтверждают закон смещения Вина: максимум излучения энергии с повышением температуры смещается в сторону коротких волн. Видимое излучение с повышением температуры излучателя начинается с красного свечения ($\lambda = 750$ мкм), постепенно пополняясь излучением желтого цвета ($\lambda = 580$ мкм), зеленым ($\lambda = 500$ мкм), голубым ($\lambda = 450$ мкм) и, наконец, фиолетовым ($\lambda = 400$ мкм). Синтез всех этих излучений и составляет белый цвет.

Примечания

1. См. также примечание к предыдущему эксперименту.
2. См. часть 6, стр. 25 — «Длины волн видимой части спектра».

ГЛАВА VII

ТЕПЛОТА И МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

§ 18. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА

1. Раскрытие понятия «теплота» дано во введении. В этой главе рассматриваются эксперименты, которые демонстрируют переход внутренней энергии тела, то есть теплоты, в механическую энергию.

Глава начинается с эксперимента 107, который демонстрирует точку воспламенения горючих паров. Этот эксперимент с первого взгляда непосредственно не связан с переходом внутренней энергии в механическую, но нам думается, что именно подобный эксперимент позволит начать разговор с учащимися о переходе одного вида энергии в другой. Ведь воспламенение горючих паров керосина, бензина, спирта при неосторожном с ними обращении является источником взрывов и пожаров. В этом эксперименте, кроме того, демонстрируется переход химической энергии в световую и тепловую в механическую.

Не устарел и Э-108 с пневматическим огнивом. Ведь именно этот эксперимент произвел на Рудольфа Дизеля в его школьные годы настолько глубокое впечатление, что идея использования резкого сжатия газа и сопутствующего этому сжатию нагревания привела Дизеля к созданию тепловой машины, носящей его имя. И действительно, на каком другом простейшем приборе можно так легко продемонстрировать разогревание газа до воспламенения в результате резкого сжатия, как не на пневматическом огниве?

Э-109 и Э-110 позволяют на простейшем оборудовании проверить значение механического эквивалента теплоты. В Э-109 используется трубка Виттинга (Уиттинга), однако надо иметь в виду, что результат эксперимента обычно получается с ошибкой порядка 15%. Значительно лучший результат может быть получен при проведении Э-110, однако для этого эксперимента нужно более сложное оборудование.

Последний параграф этой главы и всей книги посвящен моделированию тепловых машин и демонстрации принципа их работы. Создание моделей тепловых машин является задачей не совсем простой. Однако, учитывая, что учащиеся общеобразова-

тельных школ работают в мастерских и на производстве, можно полагать, что большинство моделей может быть изготовлено самими учащимися под руководством преподавателя, а приспособления для Э-113 можно выполнить в порядке домашней работы.

И все же нам думается, что именно для этих экспериментов наряду с самодельными моделями следует применять и модели, выпускаемые учебной промышленностью. Хотя в наши дни как на транспорте, так и на производстве используются главным образом поршневые машины с цилиндром, типа четырехтактных двигателей, тем не менее мы оставляем в руководстве рассмотрение моделей простых паровых тепловых машин, так как и до сих пор они наиболее удобны в локомотивах, работающих на местном топливе.

§ 19. ТЕПЛОТА — ФОРМА ЭНЕРГИИ *

107. Эксперименты, демонстрирующие точку воспламенения горючих паров (!)

Металлическая площадка (\varnothing 150 мм); две планки (10 мм \times 100 мм \times 2000 мм); подставки разной высоты; треножник; асбестированная сетка; термометр (0°C — 100°C); бунзеновская горелка; спички; гвозди; вата; эфир; керосин; бензин; этиловый спирт; метиловый спирт; охлаждающая смесь из льда с поваренной солью; песок.

Справка

Та наинизшая температура горючих жидкостей, при которой их пары в непосредственной близости от поверхности жидкости воспламеняются и воспламенение паров приводит к загоранию самой жидкости, называется температурой или точкой воспламенения.

Эксперимент

Часть 1. Демонстрация точки воспламенения. Металлическую площадку до половины наполняют керосином, температура которого предварительно понижена примерно до 15°C. В керосин опускают зажженную спичку; при этом она гаснет, не зажигая керосина. После этого площадку с керосином ставят на треножник, подложив асбестированную сетку, и подогревают на небольшом пламени бунзеновской горелки. По термометру наблю-

*Такую трактовку теплоты, как известно, нельзя считать безошибочной. (Прим. ред.)

дают за повышением температуры и через каждые 30 сек подносят зажженную спичку. В какой-то момент керосин вспыхнет. Обычно это происходит при температуре керосина в 21°C . Эта температура и является точкой воспламенения керосина (рис. 146).

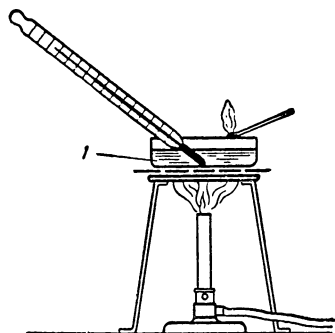


Рис. 146. Воспламенение паров керосина:

1 — металлическая чашка с керосином; 2 — горящая спичка.

Для этилового спирта точка воспламенения — около 12°C , а для метилового спирта — около $6,5^{\circ}\text{C}$.

Выполняя эксперимент в зимнее время при отрицательной температуре наружного воздуха, можно провести предварительное охлаждение, помещая плошку с горючей жидкостью за окно лабораторий. В остальное время года следует охлаждать жидкости, поместив уже наполненную плошку на сосуд с охлаждающей смесью. Такой смесью может быть смесь колотого льда с поваренной солью.

Часть 2. Распространение огнеопасной зоны вокруг разлитой легковоспламеняющейся жидкости. Из двух длинных реек сколачивают прямоугольный желоб и устанавливают его достаточно наклонно. Чтобы желоб не опрокидывался, по бокам под-

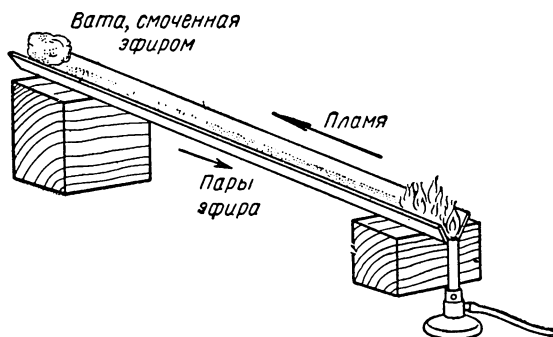


Рис. 147. Распространение пламени по «расплывающимся» парам эфира.

кладывают клинья. У нижнего конца желоба устанавливают зажженную бунзеновскую горелку, а на верхний, приподнятый конец желоба кладут ватный тампон, пропитанный одной из легковоспламеняющихся жидкостей, например эфиром. Эфир легко испаряется, и его пары, которые примерно в два с половиной раза тяжелее воздуха, стекают по желобу и, достигнув

пламени горелки, воспламеняются. Огонь бежит по желобу и очень быстро зажигает пропитанный эфиром ватный тампон (рис. 147).

Этот эксперимент имеет большое практическое значение. Он убедительно показывает необходимость предотвращения распространения паров легковоспламеняющихся жидкостей вокруг мест их хранения. Особенное значение это имеет у бензоколонок, где идет заправка автомобилей. Пары бензина легко воспламеняются, особенно в том направлении, в котором дует ветер. Зажигать огонь в радиусе менее 15 метров опасно!

108. Превращение механической энергии в теплоту

Пневматическое огниво; стеклянная трубка; центробежная машина; медная гильза на специальной втулке; корковая пробка к ней; две деревянные дощечки (30 мм×60 мм×350 мм); кусок кожи; мелкие гвозди; струбчинка; вата; трут; машинное масло; эфир; сероуглерод.

Эксперимент

Часть 1. Пневматическое огниво представляет собой толстостенную стеклянную трубку, закрытую с одного конца. В такой трубке плотно ходит поршень. Известно, что в результате очень быстрой компрессии (адиабатического процесса) горючие пары воспламеняются. Пары сероуглерода воспламеняются при 100°С, эфира — при 180°С

Вынув поршень из пневматического огнива, в него наливают несколько капель эфира или пропитывают эфиром кусочек ваты, зажатый в специальном ушке поршня.

Следует помнить, что в пространстве под поршнем могут остаться продукты сгорания от предыдущих опытов, поэтому перед проведением эксперимента следует промыть спиртом или эфиром внутренние стенки огнива, а затем через трубку вдуть воздух при помощи насоса для удаления паров. Поршень также следует уплотнить, смазывая его поверхность 1—2 каплями машинного масла.

После того как горючая жидкость помещена в огниво, в него вставляют поршень, погружая его не более чем на 20—30 мм. Затем резким толчком ладони поршень вводят в огниво. Адиабатическое сжатие воздуха приводит к его нагреванию, и пары эфира воспламеняются. Для проведения эксперимента огниво целесообразно поставить вертикально на демонстрационный стол.

Часть 2. На шпинделе центробежной машины укрепляют специально подготовленную медную гильзу с муфтой. В гильзу

наливают несколько капель эфира и закрывают корковой пробкой. Из двух дощечек, соединив их на одном из концов кусочком кожи, изготавливают деревянный обжим. Раздвинув обжим, щеками его охватывают укрепленную на шпинделе центробежной машины гильзу. Приводя центробежную машину в быстрое вращательное движение и одновременно сжимая, насколько возможно, обжим, нагревают трением гильзу. Уже через короткое время пробка, воткнутая в гильзу, вылетает с резким звуком выстрела. Гильза нагревается в результате трения настолько, что налитый в нее эфир испаряется; при этом давление паров эфира настолько возрастает, что они выбрасывают из гильзы пробку.

Примечание

Проведение эксперимента можно упростить. Для этого гильзу вместо деревянного обжима следует охватить петлей перекрещивающегося шнура. В этом случае гильза может оставаться неподвижной, шнур же будет скользить по ее поверхности. Концы шнура следует взять в руки и попеременно тянуть то за один, то за другой.

109. Определение механического эквивалента теплоты при помощи трубки Уиттинга

Картонная или прессшпановая трубка (\varnothing 60 мм, длина 1060 мм); три корковые пробки к ней; термометр (0°C — $+100^{\circ}\text{C}$); термopapa; зеркальный гальванометр; свинцовая дробь (2 кг); металлический сосуд (1 л); рычажные весы с разновесами; сосуд Дьюара или два химических стакана (500 мл и 800 мл); пористая резина; соединительные провода; штатив с большой лапкой, охватывающей трубку.

Подготовка эксперимента

В широкую трубку из картона или прессшпана насыпают примерно 2 кг мелкой свинцовой дроби. Трубку затыкают корковыми пробками (рис. 148, а) и укрепляют в легко вращающейся лапке штатива так, чтобы в вертикальном положении трубка почти касалась поверхности лабораторного стола. Подготавливают также сменную пробку со вставленным в нее термометром (рис. 148, б). Термометр в этой установке может быть заменен термopарой, что улучшает точность эксперимента. Концы термopapы зажимают в контактные клеммы, укрепленные на пробке. Целесообразно в этом эксперименте использовать двойную

термопару, один из слоев которой помещают в тающий лед (рис. 148, в).

Подобный прибор был предложен американским физиком Уиттингом (Whitting) для грубого определения механического

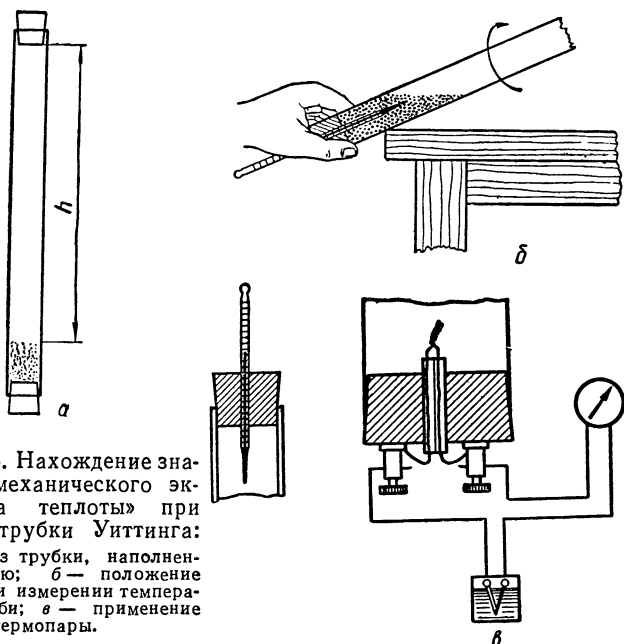


Рис. 148. Нахождение значения «механического эквивалента теплоты» при помощи трубки Уиттинга: а — разрез трубки, наполненной дробью; б — положение трубки при измерении температуры дрови; в — применение термопары.

эквивалента теплоты. Однако, соблюдая максимальное внимание в проведении эксперимента, с помощью этого прибора удастся получить значение механического эквивалента теплоты на 10—15% ниже принятого в науке. Несмотря на это, само проведение эксперимента представляет большой интерес, так как позволяет проследить переход механической энергии во внутреннюю энергию перекатывающихся в трубке свинцовых дробин. Кроме того, у учащихся при проведении эксперимента создается объективное представление о соотношении различных единиц для измерения этих двух форм энергии. Вариант трубки с термопарой надо считать более практичным.

Эксперимент

Вариант 1. Мелкую свинцовую дробь перед проведением эксперимента высыплют в металлический сосуд или консервную банку и помещают в холодную воду на несколько минут. Нужно,

чтобы температура дробы была на 2—3° ниже комнатной. Сразу же после охлаждения дробь пересыпают в трубку Уиттинга и тотчас же измеряют ее температуру. Для этого, удалив верхнюю замыкающую пробку из трубки, ее заменяют пробкой, оснащенной термометром или термопарой, и трубку осторожно переворачивают. При этом дробь должна медленно сыпаться на баллончик термометра или термопару, окружая их со всех сторон. Затем, расположив трубку наклонно в лапке штатива или оперев ее о край стола, медленно вращают вокруг продольной оси так, чтобы баллончик термометра касался наибольшего числа дробин. Прекратив вращение, измеряют температуру через 1—2 минуты. После этого трубку переворачивают и пробку, оснащенную термометром, заменяют обычной. Для определения механического эквивалента теплоты трубку резко переворачивают вокруг горизонтальной оси 50—100 раз. Если трубка не зажата в лапке штатива, то ее переворачивают, держа рукой за середину, и после каждого оборота ставят на кусок пористой резины.

Перевернув трубку определенное число раз, ее останавливают и снова верхнюю пробку заменяют пробкой с термометром. Медленно перевернув трубку, обсыпают термометр дробью и измеряют ее температуру.

Расчет. Количество теплоты, полученное дробью, нетрудно определить, зная удельную теплоемкость свинца, его массу и разность температур:

$$Q = cm (t_2^{\circ} - t_1^{\circ}).$$

Удельная теплоемкость свинца $c = 0,03 \text{ ккал} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$, или $126,5 \text{ джкг}^{-1} \cdot \text{град}^{-1}$. Масса свинца определяется взвешиванием на рычажных весах.

Механическая работа, затраченная на пересыпание свинцовой дробы, может быть определена из уравнения для потенциальной энергии дробы, поднимаемой за каждый оборот на высоту h , равную длине трубки:

$$A = P h n,$$

где n — число оборотов, P — вес дробы.

Для расчета целесообразно вес выразить в *кп*, а высоту поднятия — в метрах. Тогда все расчеты будут определяться в *кпм*. Однако если вес дробы будет выражен в ньютонах, а высота в метрах, то работа выразится в джоулях.

Исходя из закона сохранения энергии, можно составить для частного случая перехода механической энергии в теплоту следующее уравнение общего вида:

$$A = I Q,$$

где I — механический эквивалент теплоты, или коэффициент пропорциональности между единицами работы и единицами теплоты.

Из приведенного уравнения следует, что

$$Phn = Icm(t_2^{\circ} - t_1^{\circ}).$$

Откуда

$$I = \frac{Phn}{cm(t_2^{\circ} - t_1^{\circ})}.$$

Выводя размерность для I для случая, когда P выражено в $кп$, имеем:

$$[I] = \frac{кпм \cdot кг \cdot град}{ккал \cdot кг \cdot град} = \frac{кпм}{ккал},$$

или, если P взято в ньютонах, то

$$[I] = \frac{н \cdot м \cdot кг \cdot град}{ккал \cdot кг \cdot град} = \frac{дж}{ккал}.$$

Численное значение этого коэффициента, носящего название «механический эквивалент теплоты», в условиях описанного эксперимента близко к $400 \text{ кпм} \cdot \text{ккал}^{-1}$, или $3860 \text{ дж} \cdot \text{ккал}^{-1}$, тогда как в науке принято $427 \text{ кпм} \cdot \text{ккал}^{-1}$, или $4182 \text{ дж} \cdot \text{ккал}^{-1}$ (округленно $4200 \text{ дж} \cdot \text{ккал}^{-1}$).

В а р и а н т 2. Как уже описано выше, можно значительно улучшить результат эксперимента, применяя вместо термометра двойную термopару. Порядок проведения эксперимента тот же, что и в варианте первом.

П р и м е ч а н и я

1. Этот эксперимент, как и последующий эксперимент 110, имеет большое методическое значение, особенно потому, что при переводе всех измерений физических величин в одну систему (систему СИ) необходимо определить соответствующие пересчетные коэффициенты. По международной системе единиц, системе СИ, теплота измеряется не только в килокалориях, но и в джоулях (см. предисловие к этой части руководства), между тем во всех учебных руководствах, выпущенных до 1963 г., теплота измеряется только в калориях. Описанный выше эксперимент позволяет опытным путем найти один из важнейших пересчетных коэффициентов, коэффициент I , равный $427 \text{ кпм} \cdot \text{ккал}^{-1}$, или обратный ему, коэффициент B , равный $\frac{1}{I}$; $B \approx 0,00234 \text{ ккал} \cdot \text{кпм}^{-1}$, или $0,00024 \text{ ккал} \cdot \text{дж}^{-1}$.

2. При пользовании термопарой необходимо иметь специальную таблицу для пересчета шкалы гальванометра в градусы стоградусной шкалы или иметь готовую характеристику термопары. Ниже мы приводим таблицу, характеризующую величину э. д. с. двойных термопар при условии, что холодный спай погружен в тающий лед.

Таблица 3

Зависимость величины э. д. с. (в мв) термопар от разности температур спаев

Разность температур	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Железо — константан (60 %, 40 %)	0,5	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,4
Медь — константан . .	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5	2,9	3,4	3,8	4,3

110. Определение механического эквивалента теплоты по Вильдермуту (!)

Прибор Вильдермута; в его комплекте: алюминиевый цилиндр; гильза; счетчик оборотов; брезентовая лента с петлями на концах; два динамометра; соответствующие муфты и штативы на струбцинках для крепления на лабораторном столе; ступенчатый штатив в сочетании с центробежной машиной и термометр. К прибору: рычажные весы с разновесками; ртуть, алюминиевые фольги.

Общий вид прибора и его установка приведены на рис. 149. Алюминиевая гильза, на $\frac{2}{3}$ наполненная ртутью, при помощи центробежной машины приводится во вращение. В ртуть помещен баллончик термометра. При своем вращении гильза трется об охватывающую ее брезентовую петлю, натянутую при помощи двух расположенных горизонтально динамометрах. Возникающая при трении теплота передается от нагреваемой гильзы через ртуть термометру.

Шпиндель, на котором насажена гильза, соединен со счетчиком оборотов.

Перед началом эксперимента определяют массу алюминиевой гильзы m_1 и массу налитой ртути m_2 , а также измеряют начальную температуру ртути t_1° , а значит, и гильзы.

Приведя гильзу при помощи центробежной машины во вращательное движение, вращают ее достаточно равномерно около двух минут. Скорость вращения должна быть такой, чтобы ртуть ни в коем случае не выливалась из гильзы. Прекратив

вращение, тотчас же измеряют новую температуру ртути t_2° и определяют количество теплоты, возникшей в результате трения гильзы о брезентовую петлю:

$$Q = (c_1 m_1 + c_2 m_2) (t_2^\circ - t_1^\circ),$$

где c_1 и c_2 — соответственно удельные теплоемкости алюминия и ртути.

Зная диаметр алюминиевой гильзы d , определяют длину ее окружности, то есть тот путь, который проходит каждая точка гильзы при трении о брезентовую петлю (в готовом приборе длина окружности $\approx 0,1$ м). По разности показаний динамометра определяют действующую при трении силу F , а по счет-

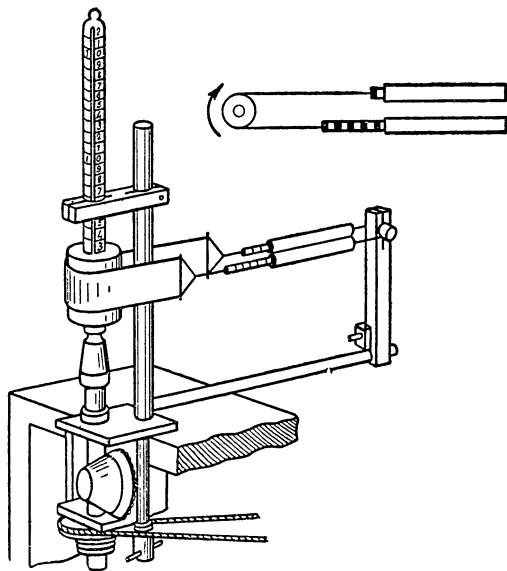


Рис. 149. Прибор Вильдермута для определения механического эквивалента теплоты.

чику — число оборотов n , совершенных за определенное время. В этом случае вся совершенная работа, вызвавшая нагревание ртути, равна:

$$A = F \pi d n.$$

Исходя из закона сохранения энергии, можно написать уравнение энергетического баланса:

$$A = I Q,$$

где I — коэффициент для пересчета количества энергии, переходящего из одного вида в другой. В том случае если бы механическую энергию и теплоту выражать в одинаковых, или одностип-

ных, единицах измерения, то коэффициент I был бы равен единице, но, так как механическая энергия измеряется в этом эксперименте в *кпм*, а теплота — в *ккал*, коэффициент I служит пересчетным коэффициентом с наименованием *кпм·ккал*⁻¹. Этот коэффициент и называется механическим эквивалентом теплоты.

Согласно приведенному уравнению коэффициент равен:

$$I = \frac{F \pi d n}{(c_1 m_1 + c_2 m_2) (t_2^\circ - t_1^\circ)}.$$

Значение коэффициента I , полученное на данной установке, обычно всего на 2—3% ниже его истинного значения.

Примечание

Чтобы избежать применения ртути, можно в качестве передающего теплоту тела применить алюминиевую фольгу, набив ею плотно гильзу. В этом случае термометр помещают в алюминиевую фольгу, и он будет вращаться вместе с гильзой. Несколько упрощается и расчетная формула, так как в нее не придется вводить удельную теплоемкость ртути.

§ 20. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

111. Эксперимент на модели пароатмосферной тепловой машины. Модель котла Папена

Специальная трубка с поршнем (модель котла Папена); дощечка (10 мм × 100 мм × 250 мм); две деревянные круглые рейки (Ø 4 мм, длина по 100 мм) или две стеклянные трубки; плоская чашка (200 мл); бунзеновская горелка.

Специальная трубка с поршнем представляет собой медную пробирку с внутренним диаметром около 40 мм (толщина стенок не менее 2 мм, длина пробирки 200 мм). В боковой стенке имеется отверстие на глубине около 35 мм от открытого ее конца. При помощи пластилина к пробирке прикрепляют пипетку, наполненную водой, строго против отверстия в стенке. В пробирку наливают 10—15 мл воды и вставляют поршень, у которого вместо рукоятки имеется горизонтальная площадка (рис. 150). Длина стержня должна быть примерно 150 мм, чтобы при погружении поршня в пробирку он не доходил до ее дна примерно на 50 мм. Площадка, укрепленная на стержне, должна опираться о торец медной пробирки. Медная пробирка укрепляется в вертикальном положении в лапке штатива на такой высоте, чтобы под ее дно можно было бы подставить бунзеновскую горелку, помещенную на легкоподвижную подставку.

Под доску-подставку с бунзеновской горелкой подкладывают две круглые рейки или две стеклянные трубки, по которым доска может легко перекачиваться.

После подготовки всей установки воду, налитую в медную пробирку, доводят до кипения. Образующиеся пары создают то дополнительное давление в медной пробирке, под действием которого поршень начинает подниматься вверх, совершая работу против силы тяжести. Как только поршень поднимется выше бокового отверстия в пробирке, горелку следует отставить. Для

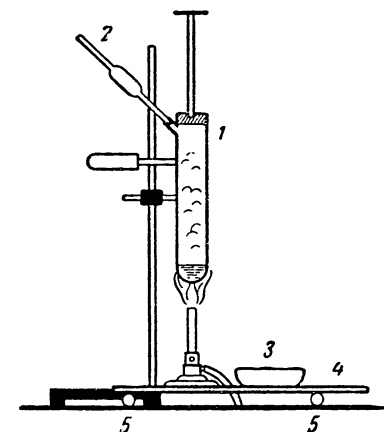


Рис. 150. Модель пароатмосферной трубки Папена:

1 — трубка с поршнем; 2 — пипетка с холодной водой; 3 — чашка с холодной водой; 4 — подставка; 5 — стеклянные трубки.

этого дощечку нужно отвести в сторону. Одновременно из пипетки в пространство пробирки, заполненное паром, выливается несколько капель холодной воды. Давление пара в пробирке уменьшается, и поршень под действием атмосферного давления снова опускается вниз. Подставив вновь бунзеновскую горелку, доводят воду до кипения, и образующиеся пары снова поднимают поршень вверх.

Весь процесс следует повторить несколько раз. Установка моделирует простейшую пароатмосферную машину, предложенную Ньюкоменом.

Примечание

В первых пароатмосферных машинах переключение клапанов, регулирующих поступление воды, охлаждающей пар, и новое поступление пара в цилиндр производилось вручную, обслуживающим машину рабочим. Подобные машины работали в начале XVIII века в Англии на шахтах для откачки воды.

112. Эксперимент на модели поршневой паровой машины

Нет никакого сомнения в том, что демонстрация действующей паровой машины имеет исключительно учебную ценность, и эту демонстрацию не могут заменить ни таблицы, ни модели отдельных узлов недействующих моделей.

Однако надо иметь в виду и то обстоятельство, что подобные машины целесообразно иметь только заводского изготовления, хотя бы потому, что для приведения их в действие необходимо повышенное давление в специальном котле.

(В распоряжении школ Российской Федерации имеется хорошая модель, выпускаемая учебной промышленностью РСФСР. Подробное описание модели дается в специальной сопроводительной брошюре.)

Мы здесь ограничимся рядом практических советов по приведению модели в действие.

1. Паровой котел, предназначенный для приведения модели в действие, заполняют примерно на $\frac{2}{3}$ водой и нагревают воду, открыв имеющийся на котле для выпуска пара и воздуха вентиль. Этот вентиль закрывают только тогда, когда начнется бурное кипение в котле.

2. Проводя эксперимент, следует использовать предоставившуюся возможность продемонстрировать ряд процессов, связанных с учебным материалом предыдущих лет обучения, таких, как действие водомерного стекла в котле, действие манометра, предохранительного клапана, счетчика оборотов и махового колеса.

3. Следует иметь в виду, что при движении поршня имеют место мертвые точки. Если поршень находится в мертвой точке, то никаким давлением пара его нельзя привести в движение, вот почему начальное движение поршня должно быть совершено легким толчком махового колеса.

Примечания

1. Нагревание воды в котле может быть проведено на спиртовой горелке. В этом случае целесообразно котел наполнить заранее нагретой водой. Однако нагревание воды в котле можно проводить и электронагревателем.

2. После демонстрации эксперимента модель следует тщательно просушить и смазать маслом.

113. Модель паровой турбины Лавала

Круг из жести (\varnothing 150 мм); круг деревянный или фанерный (\varnothing 90 мм, толщина 10 мм); деревянная рейка (10 мм \times 10 мм \times 100 мм); гладкий круглый гвоздь; мелкие гвозди; широкогорлая колба (500 мл); пробка с двумя отверстиями; две стеклянные трубки (\varnothing 3 мм); треножник; асбестированная сетка; штатив; бунзеновская горелка; круглогубцы; ножницы для резки жести; действующая модель паровой турбины.

Подготовка эксперимента

Из жестяного круга изготавливают рабочее колесо модели паровой турбины. Для этого, пользуясь рис. 151, а, на жестяном круге делают радиальные надрезы (по сплошным линиям чертежа) и отгибают в одну сторону лопатки на угол около 50° (по

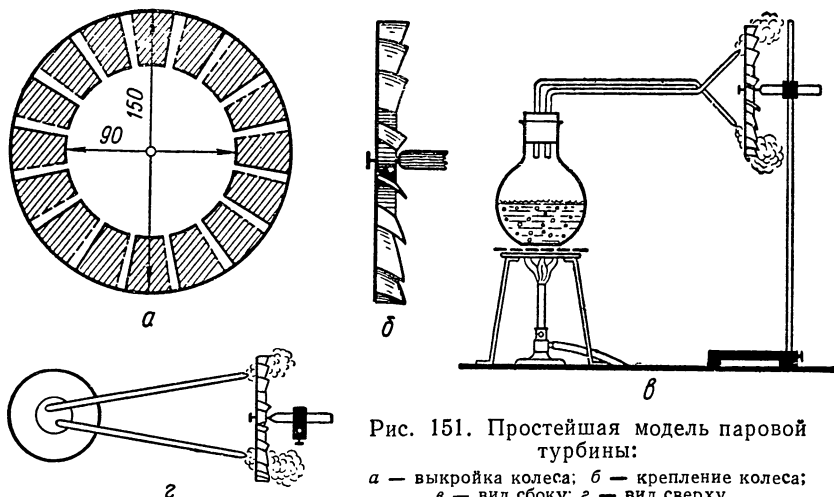


Рис. 151. Простейшая модель паровой турбины:

а — выкройка колеса; *б* — крепление колеса;
в — вид сбоку; *г* — вид сверху.

штриховым линиям чертежа). При помощи круглогубцев лопаткам придают несколько округлую, ложкообразную форму. Подготовленное жестяное колесо прибивают мелкими гвоздями к деревянному кругу. В центре колеса просверливают отверстие, через которое легко должен проходить круглый гвоздь, служащий осью. Насадив на гвоздь колесо, гвоздь вбивают в торец деревянной рейки (рис. 151, б). Готовое рабочее колесо укрепляют в лапке штатива.

Эксперимент

Широкогорлую колбу наполняют на $\frac{1}{3}$ горячей водой и закрывают пробкой, в которую вставлены две стеклянные трубки, предварительно изогнутые так, как указано на рис. 151, в. Открытые концы трубок, моделирующие сопла турбин, должны быть направлены на лопатки рабочего колеса.

Нагревая воду до кипения, струю пара направляют на рабочее колесо турбины, которое и приходит во вращательное движение.

Примечания

1. Изготовление рабочего колеса модели турбины может быть поручено учащимся в порядке домашнего задания.

2. Целесообразно продемонстрировать учащимся также эксперименты на модели активной гидравлической турбины, особенно если такая модель раньше изготавливалась учащимися (см. часть 2, стр. 103—104, Э-65). (Прим. перев.)

3. Учебная промышленность РСФСР выпускает действующую модель паровой турбины, описание которой дается в сопровождающей брошюре.

114. Эксперимент на модели двигателя внутреннего сгорания

Газовая бюретка или широкая стеклянная трубка с оттянутым в виде узкого горлышка одним концом (трубка \varnothing 40 мм, горлышко \varnothing 15 мм, длина трубки 200 мм); резиновая пробка к узкому горлышку трубки; корковая пробка к широкому отверстию трубки; два куска спицы (по 50 мм); два зажима-«крокодила»; повышающий трансформатор (750/15 000 витков); ключ Морзе; штепсельная вилка; соединительные провода; три штатива; лист толстого стекла; пипетка; пульверизатор; бензин.

Подготовка эксперимента

Газовую бюретку или специальную трубку с суженным внизу горлышком укрепляют в лапке штатива в вертикальном положении. Узкое горлышко затыкают резиновой пробкой, в которую вставлено два куска спицы, моделирующие свечу двигателя. Выступающие внутрь трубки концы спиц следует изогнуть так, чтобы между ними было расстояние не более 2 мм. Свободные концы спицы при помощи зажимов-«крокодилов» соединяют с повышающей обмоткой трансформатора. На первичную обмотку трансформатора подают ток городской сети. Соединительные провода, идущие к трансформатору, прерываются вместо выключателя ключом Морзе (рис. 152).

В бюретку или стеклянную трубку при помощи пипетки вносят несколько капель бензина так, чтобы они попали на внутреннюю стенку и стекали по ней. Еще лучше бензин впрыснуть в бюретку или трубку при помощи пульверизатора. После внесения бензина верхнее, широкое горлышко бюретки или трубки затыкают корковой пробкой, моделирующей поршень двигателя внутреннего сгорания. Для ускорения образования паров бензина бюретку следует прогреть, обняв ее ладонями.

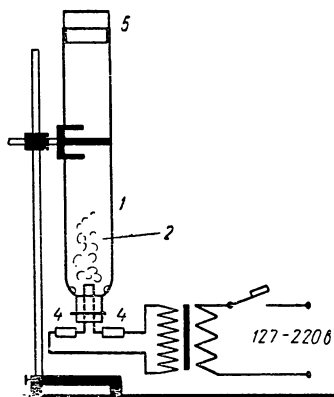


Рис. 152. Модель рабочей камеры двигателя внутреннего сгорания:

1 — цилиндр — газовая пипетка Мюллера; 2 — пары бензина; 3 — «свечи»; 4 — контактные зажимы; 5 — корковая пробка.

Перед всей установкой со стороны класса ставят защитное стекло, укрепив его вертикально в лапках двух штативов.

Эксперимент

Коротким по времени нажимом на ключ Морзе подают на трансформатор ток. Между концами спиц, находящихся в парах бензина, проскакивает искра, вызывая воспламенение газовой смеси бензин — воздух. Под действием резкого расширения газовой смеси и продуктов сгорания корковая пробка вылетает из бюретки. Таким образом демонстрируется рабочий ход поршня двигателя внутреннего сгорания.

Примечания

1. Ключ Морзе должен быть по возможности удален от стеклянной модели не менее чем на 2 м, но даже и в этих условиях экспериментатору следует надеть защитные очки.

2. Целесообразно, проводя эксперимент, одновременно продемонстрировать соответствующие схемы устройства двигателя. Крайне желательно показать действующую модель двигателя внутреннего сгорания, так как на описанной установке не представляется возможным показать все такты работы двигателя. Несмотря на это, эксперимент имеет большое образовательное значение, так как на нем показывается переход тепловой энергии в механическую. Кроме того, он знакомит учащихся с преимуществом двигателей, в которых в одно целое объединены топка, котел и цилиндр, а следовательно, имеет место переход тепловой энергии в механическую без промежуточного рабочего тела — воды.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Числа, стоящие в алфавитном указателе обозначают номера экспериментов или параграфов настоящей части руководства*.

- Абсолютно черное тело — 105; М. 3. § 13, п. 4
 абсорбция теплоты — 103
 автосигнал повышения температуры — 31
 азот — 49
 активная турбина — 113
 аммоний азотнокислый — 52, 60
 » хлористый — 60
 аномалия теплового расширения воды — 40—41, 44, 57
 ацетат натрия — 59
 ацетон — 89
- Бартеля горелка керосиновая — гл. I, п. 2
 бензин — 107, 114
 бензол — 47, 107
 биметаллическая пластинка — 31—33; М. 3. § 5, п. 3
 Бойля—Мариотта закон — 83
 Больцмана — 105, М. 3. § 14, п. 4
 Броуновское движение — Введ.
 Бунзена горелка см. бунзеновская горелка
 бунзеновская горелка — гл. I, п. 2
- Вильдермута прибор — 110
 Вин В. — М. 3. § 14, п. 4
 внутренняя энергия — Введ.
 водоотопительная система — 96
 водород — 49; М. 3. § 14, п. 5
- возгонка — 88; М. 3. § 11
 воздух жидкий — 90
 воск — 91, 95
 воспламенение горючих паров — 107
- Газов сжижение — 86
 газовые горелки — гл. I, п. 2
 гейзер — 77
 гипосульфит см. тиосульфат натрия
 гипс — 67
 глицерин — 47, 51, 90
 горная сварка — 65
- Даниэля горелка — 65, 102
 двигатель внутреннего сгорания — 114
 джоуль — ед. теплоты — Введ.
 дистилляция — 70, 71
 дымовые трубы — 98
 Дьюара сосуд — 16, 18, 56, 87—90
- Жидкая углекислота — 87, 89
 жидкий воздух — 90; М. 3. § 11
- Закон Бойля—Мариотта — 83
 » Вина смещений — 106
 » Гей — Люссака — 48—49
 » Дальтона — 84
 » Кирхгофа — 102
 » Стефана—Больцмана—105
 » Шарля — 50
 затвердевание — 56, 58, 64, 77, 90
 » солевых растворов — 64
 затвердевания точка — 52—53

* В указатель не вошло вспомогательное оборудование, если оно не составляет объекта изучения.

Излучение тепловое — 100—103, М. 3.

§ 14

изменение объема — 57, 58

иод — 106

иодит ртути — 92

Калий азотнокислый — 52, 60

калориметр — 14, 15, 17, 46, 56; М. 3.

§ I, п. 4

калория см. килокалория

кальций хлористый — 60, 86

керосин — 39, 47, 75, 107

килокалория — 14; Введ.

киноварь — 90

кипение — 69, 76—81

кипения зависимость от давления —
4, 5, 76—78, 80, 81

» точка — 4, 5, 69, 74

кислород — 49

кокильное литье — 68; М. 3. § 8

количество теплоты — 13; Введ.; М. 3.

§ I, п. I, п. 3

компенсация теплового расширения —
25, 49

» » » сосудов — 49

конвекция — 95—99

конденсация — 70, 71, 75

коэффициент линейного расшире-
ния — 35—37, М. 3. § 5, п. 4

» объемного расширения — 47

криоскопия — 64

криофор — 74

Крукса радиометр — 102, 104—106;

Лавала паровая турбина — 113

латунь — 38, 94

литье — 66—68; М. 3. § 8

Максимально минимальный термометр

Сикса — 6

максимальный термометр — 6

медь — 91, 92—94;

метеорологический термометр — 6

метиловый спирт — 107

механический эквивалент теплоты —
109, 110

механическая энергия и теплота —
108—110

минимальный термометр — 6

Насыщающие пары — 82; М. 3. § 11

натрий азотнокислый — 52

натрия ацетат — 59

нафталин — 52

ненасыщающие пары — 83; М. 3. § 11

Обработка металлов литьем — 66—78

огниво пневматическое — 108

олово — 53—54

охлаждающие смеси — 61

Папена котел — 81

паровая поршневая машина — 112

» турбина Лавала — 113

парообразование — 69—73

парообразования теплота — 74—75

парциальное давление — 84, 85

перегретый пар — 79; М. 3. § 17

переохлажденная вода — 63

пикнометр — 51

плавающий и тонущий пловец — 43

плавления теплота — 56; М. 3. § 8

» точка чистых веществ — 52—53

» » сплавов — 54—55

» удельная теплота — 56

пламени температура — 9; гл. I. п. 2

поршневые паровые машины — 112

постоянные точки термометра — 4, 5

прибор Вильдермута — 110

» Тиндаля — М. 3. § 5, п. 2

Радиометр Крукса — 102, 104—106;
М. 3. § 14

растворения теплоты — 60

расширение твердых тел — 21—38;
М. 3. § 5, п. 1

» жидкостей и газов — 39, 40,
48, 49, 53—58; М. 3. § 5

регеляция — 61

реле тепловое — 3

ртуть — 2, 6, 47, 51—54, 69, 75, 80,
82—84, 89, 90, 110

Сахар — 64

сварка горновая — 65

свинец — 53, 54, 66—68, 90; М. 3.
§ 14, п. 5

свинцовая дробь — 91,

сера — 53, 90

серная кислота — 86

сероуглерод — 106

сжижение газов — 86

Сикса термометр максимально — ми-
нимальный — 6

силы, возникающие при изменении
температуры — 30; М. 3. § 5, п. 2

скипидар — 68—102

солевые растворы — 64

сопротивление электрическое при низ-
кой температуре — 90

спектр, температурная характери-
стика — 104

спирт денатурированный — 16, 39,
47, 64, 69

» этиловый — 73, 82, 84, 89—90, 107.

сплавы, точка плавления — 54, 55

стеарин — 53, 58

стратификация температурная воды — 41
субъективная оценка температуры — 1
сурик — 90

Твердая углекислота — 87, 88

температура М. 3. § 1, п. 1

» воспламенения паров 107

» измерение 6

» пламени 9; Гл. I. п. 2

» субъективная оценка 1

температурная стратификация воды 41

» характеристика спектра — 104

теплого баланса уравнение — 15—16, 18—20, 75

тепловой эквивалент работы — 109, 110

тепловое реле — 33

тепловые машины — 11—114; М. 3. § 18

теплоемкость 17—20; М. 3. § 1, п. 4

» удельная 14—16, 20

теплообменник — 72

теплоотдача — 99

теплоотдачи увеличение при ребристой поверхности — 99

теплопроводность — 91—95

теплота возникновения 9—12

» и механическая работа М. 3. § 18

» как форма движения — Введ.

» кристаллизаций — 59

парообразования — 74, 75

» плавления — 56

» растворения — 60

термометрия М. 3. § 1, п. 1

термометр — 3—6

» максимально — минимальный — 6

» модель — 3, 4

» наполнения трубок — 2

» постоянные точки — 4, 5

» шкалы — М. 3. § 1, п. 1

термопара — 7, 8, 10, 11, 100, 104

» железо — константан — 109

» медь — константан — 109

терморегулятор — 32—33

термоскоп — 20, 42, 46, 59, 60, 93, 94, 103

» дифференциальный — 44

термоэлемент см. термопара

терпентин — 102

техника безопасности — гл. 1, п. 4

Тиндаля прибор — М. 3. § 5, п. 2

тиосульфат натрия — 52, 59, 60

точка замерзания солевых растворов — 64

» кипения — 4, 5, 76, 77, 80

» плавления чистых веществ — 52, 53

» » сплавов — 54—55

трение и теплота — 10—11, 109, 110

турбина паровая Лавалы — 113

Углекислота жидкая — 51

» твердая — 60, 87—89

углекислый газ — 49

удар и теплота — 10, 11

удельная теплоемкость — 14—16, 20

» теплота кипения — 75

» » плавления — 56

» » парообразования — 75

Уиттинга трубка — 109

уменьшение электрического сопротивления при низкой температуре — 90

уравнение Рауля — 64

» Рихмана см. ур. теплового баланса

» теплового баланса 15, 16, 18—20, 75

Формовка металлов литьем — 66—68

формовочный песок и литейная форма — 66—68

Хлористый этил — 82

хлороформ — 69, 75—84

холодильник Либиха — 71

Цинк — 92

Четыреххлористый углерод — 16

Шкалы термометров — М. 3. § 1, п. 1

Э. д. с. — термопары — 109

электрическое сопротивление при низких температурах — 90

эмиссия — 102, 103.

этил хлористый — 82

этиловый спирт — 73, 82, 84, 89, 90, 107

эфир — 69, 73, 74, 82—85, 89, 90, 102, 107, 108

Георг Шпрокхоф
Эксперимент по курсу
элементарной физики
часть 3

ТЕПЛОТА

Редактор *В. Д. Козлов*
Переплет художника *Г. С. Богачева*
Художественный редактор *Б. Л. Николаев*
Технический редактор *В. И. Корнеева*
Корректор *Т. А. Кузнецова*

* * *

Сдано в набор 14/VIII-1964 г. Подписано
к печати 14/XII-1964 г. 60×90^{1/16}. Печ. л.
14,25. Уч.-изд. л. 12,55. Тираж 21 тыс. экз.
(Пл. 1964 г. № 182). Заказ 132.

* * *

Издательство «Просвещение» Государ-
ственного комитета Совета Министров
РСФСР по печати. Москва, 3-й проезд
Марьиной роши, 41.

Саратовский полиграфический комбинат
Росглавполиграфпрома Государственно-
го комитета Совета Министров РСФСР
по печати, г. Саратов, ул. Чернышев-
ского, 59.

Цена без переплета 34 коп.
Переплет 15 коп.

